

Título

BIOMASSA PARA ENERGIA

Mário Costa

(mcosta@ist.utl.pt)

Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior Técnico

Avenida Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

**Disciplina de Energias Renováveis, Mestrado Integrado em Engenharia
Mecânica, Instituto Superior Técnico, Novembro 2008**

Combustíveis

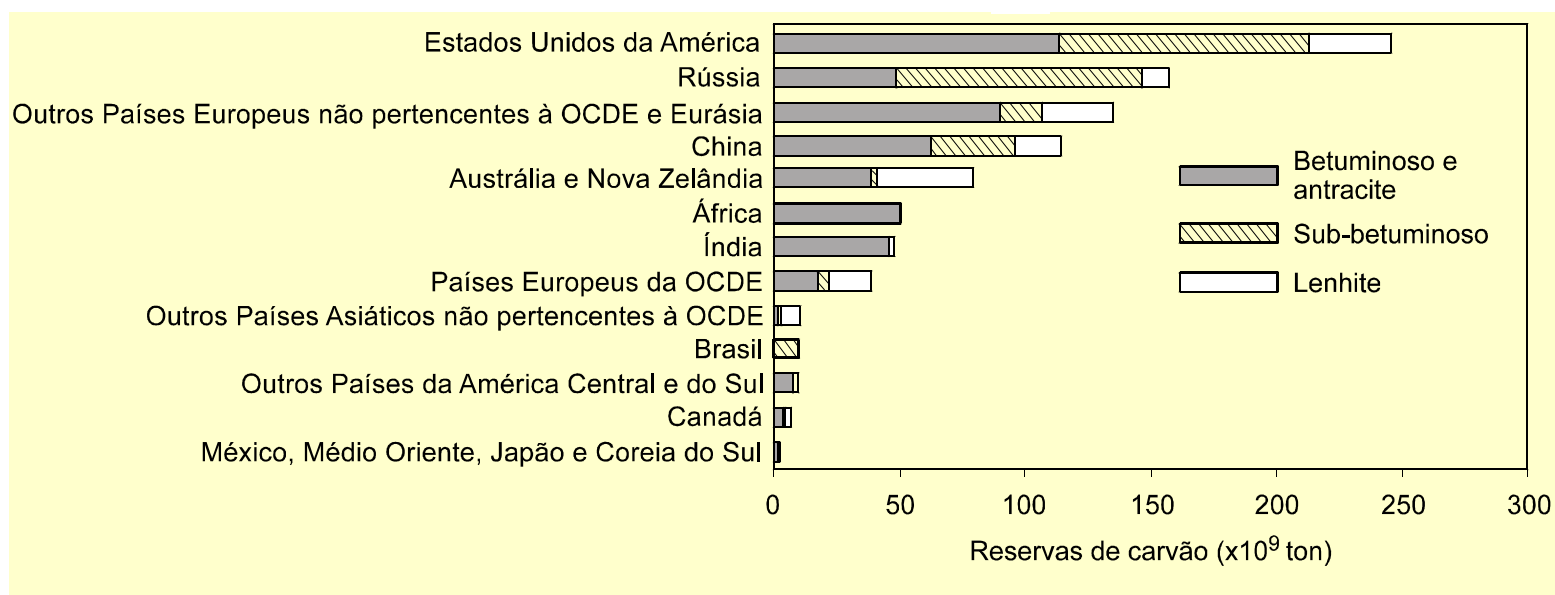
- Os combustíveis são as substâncias que, quando aquecidas, sofrem uma reacção química de oxidação, utilizando na maioria dos casos o oxigénio constituinte do ar, com libertação de calor.
- Os combustíveis podem ser classificados em sólidos, líquidos e gasosos.
- Podem também ser classificados como combustíveis fósseis e biomassa.
- Ao contrário da biomassa, os combustíveis fósseis não são renováveis.
- Os principais combustíveis fósseis são os derivados do petróleo bruto (gasolina, gasóleo, querosene, fuel-óleo), o carvão e o gás natural.
- A biomassa consiste principalmente na madeira, resíduos vegetais e lixo municipal e industrial.

Combustíveis

- As reservas de carvão conhecidas são bastante grandes, comparativamente às dos restantes combustíveis fósseis.
- Considerando apenas aquelas cuja exploração é, presentemente, economicamente rentável, mantendo-se constante a actual tendência de evolução do consumo, o carvão pode satisfazer as necessidades energéticas mundiais durante 200 anos.
- Contudo, tal como para os outros combustíveis fósseis, mais importante do que o valor absoluto das reservas existentes é a sua distribuição geográfica, a economia da extracção e transporte do combustível e a política internacional.

Combustíveis

As reservas encontram-se bastante disseminadas pelo planeta.

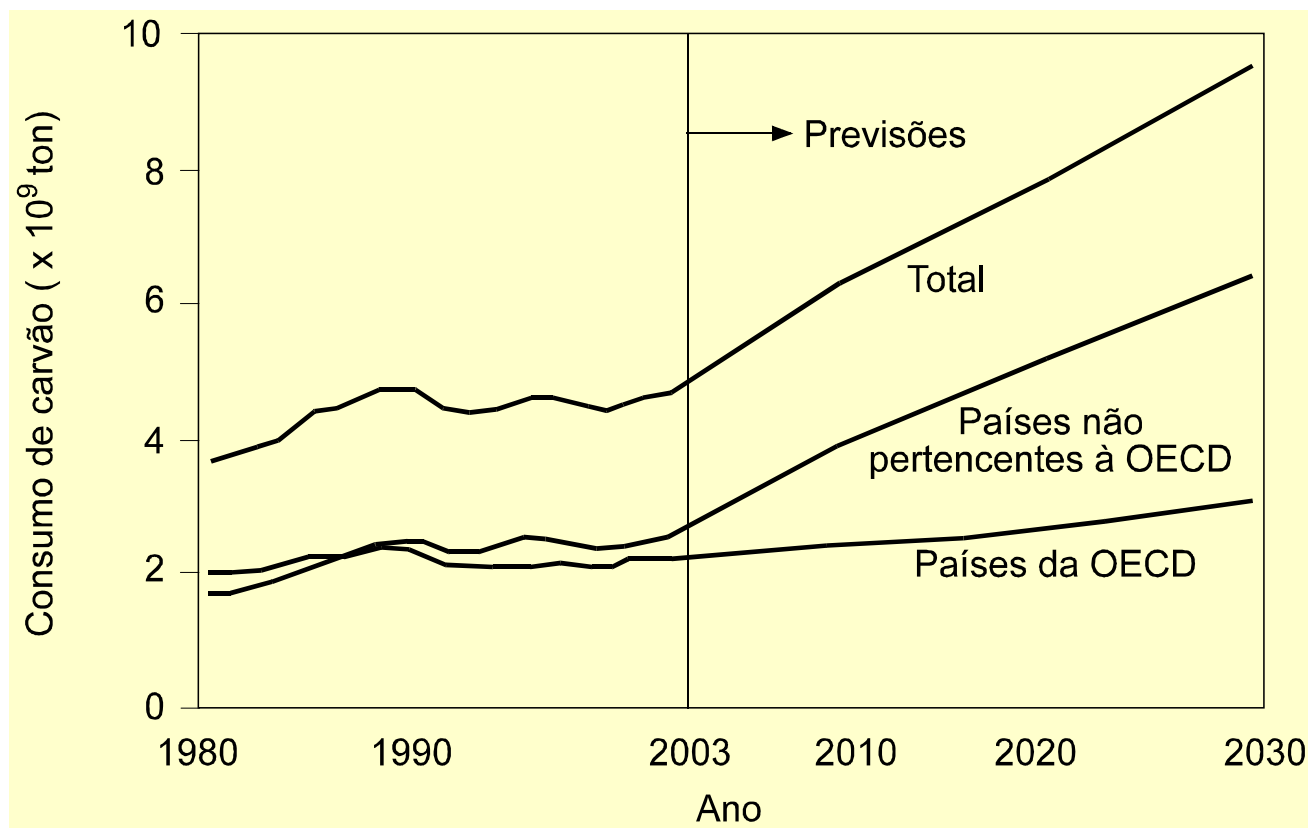


Distribuição geográfica das reservas comprovadas de carvão. (Dados da EIA, 2006.)

A OCDE engloba 30 países, designadamente os países da Europa Ocidental, países nórdicos, República Checa, Eslováquia, Polónia, Grécia, Turquia, Estados Unidos da América, Canadá, México, Japão, Coreia do Sul, Austrália e Nova Zelândia.

Combustíveis

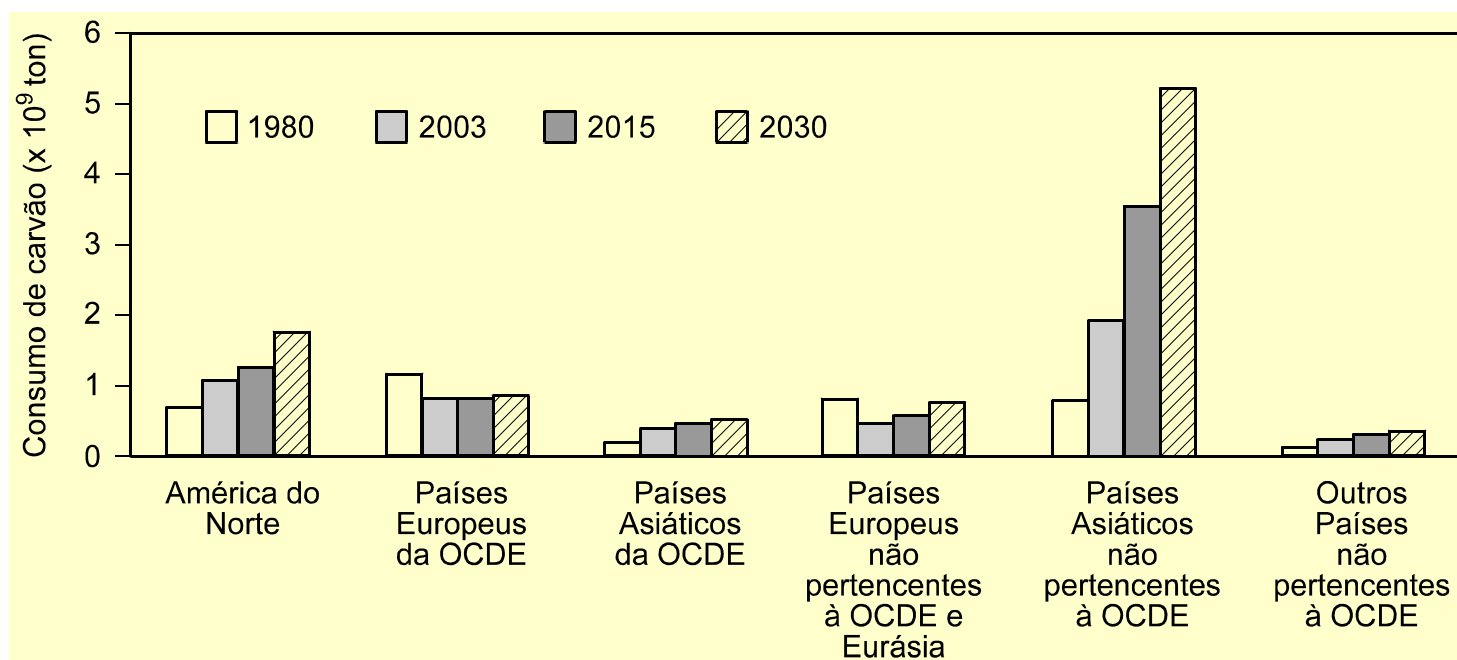
O consumo de carvão a nível mundial tem vindo a crescer ligeiramente desde 1980 e prevê-se que essa tendência se mantenha num futuro próximo.



Consumo de carvão a nível mundial. (Dados da EIA, 2006.)

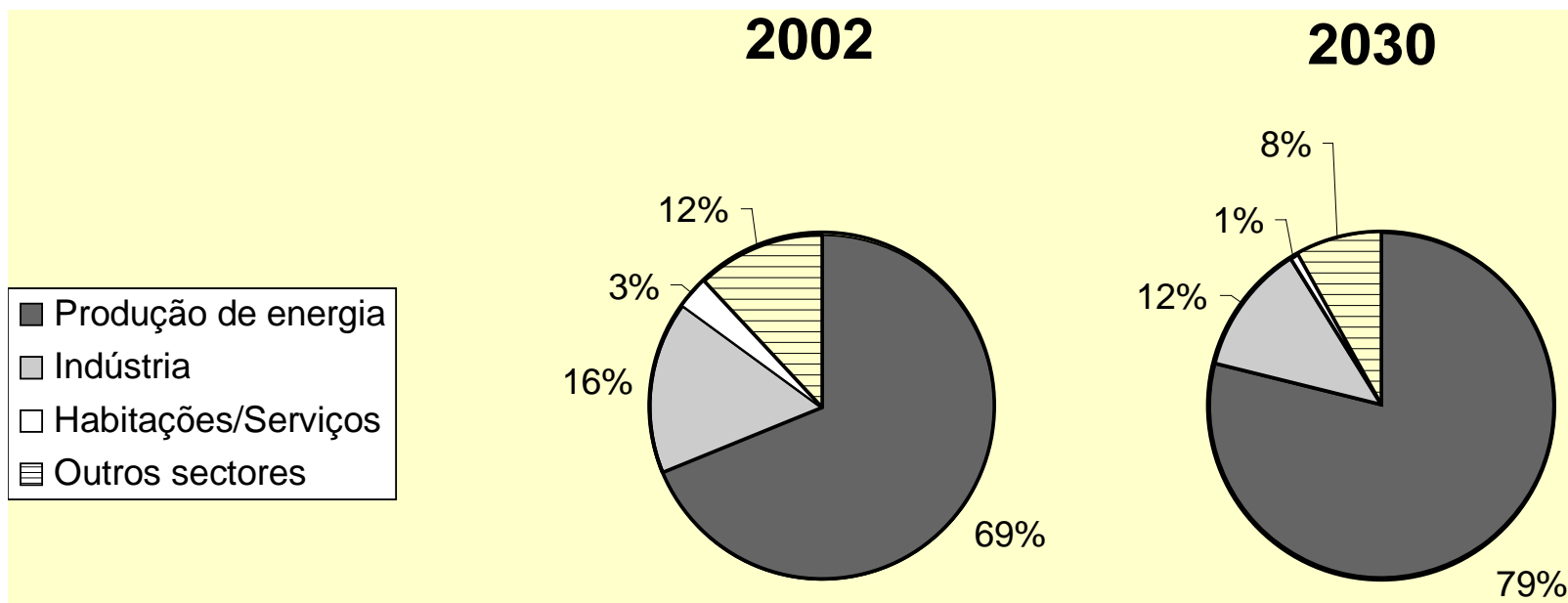
Combustíveis

O aumento mais significativo no consumo de carvão é devido aos países asiáticos não pertencentes à OCDE, especialmente a China e a Índia.



Consumo de carvão por região. (Dados da EIA, 2006.)

Combustíveis

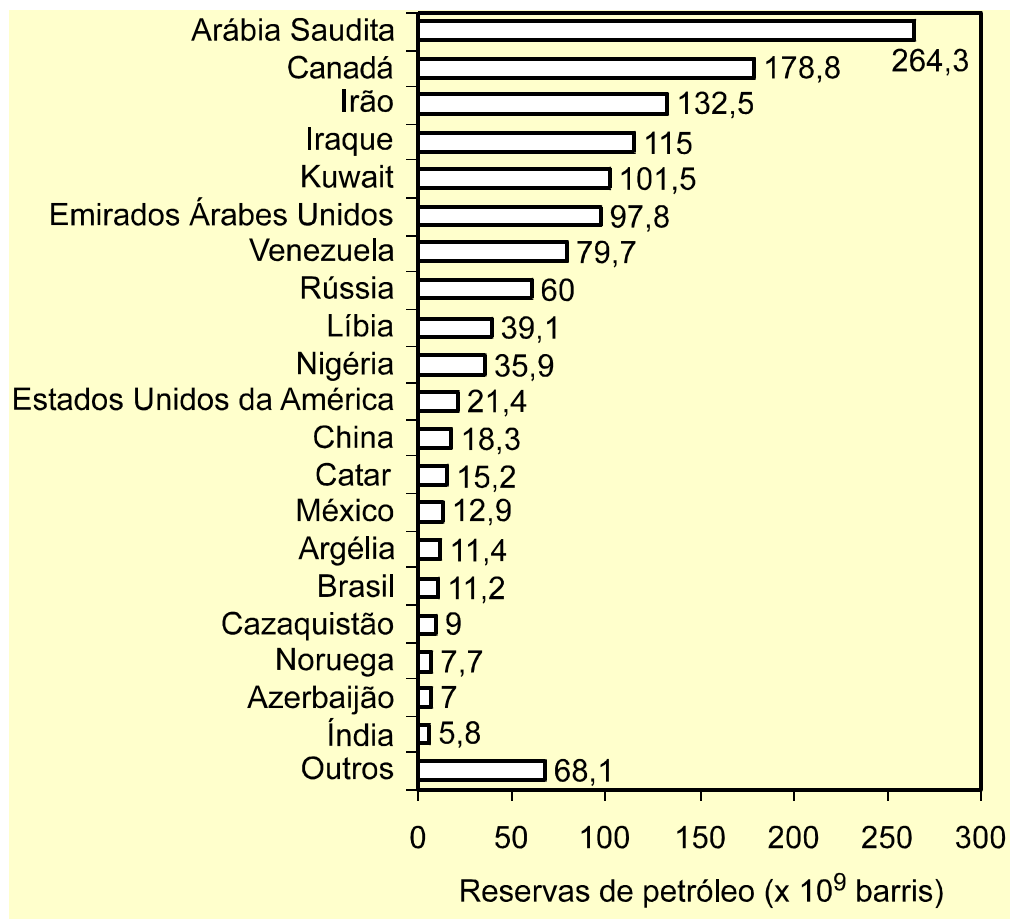


Distribuição do consumo de carvão por sector de actividade a nível mundial – estatísticas de 2002 e projecção para 2030. (Dados da IEA, 2004.)

Nota: Previsões para as próximas duas ou três décadas deverão ser encaradas com alguma prudência. De facto, apesar de serem provenientes de instituições competentes e credíveis, estão sujeitas às incertezas inerentes à evolução da situação política e económica, bem como aos avanços científicos e tecnológicos.

Combustíveis

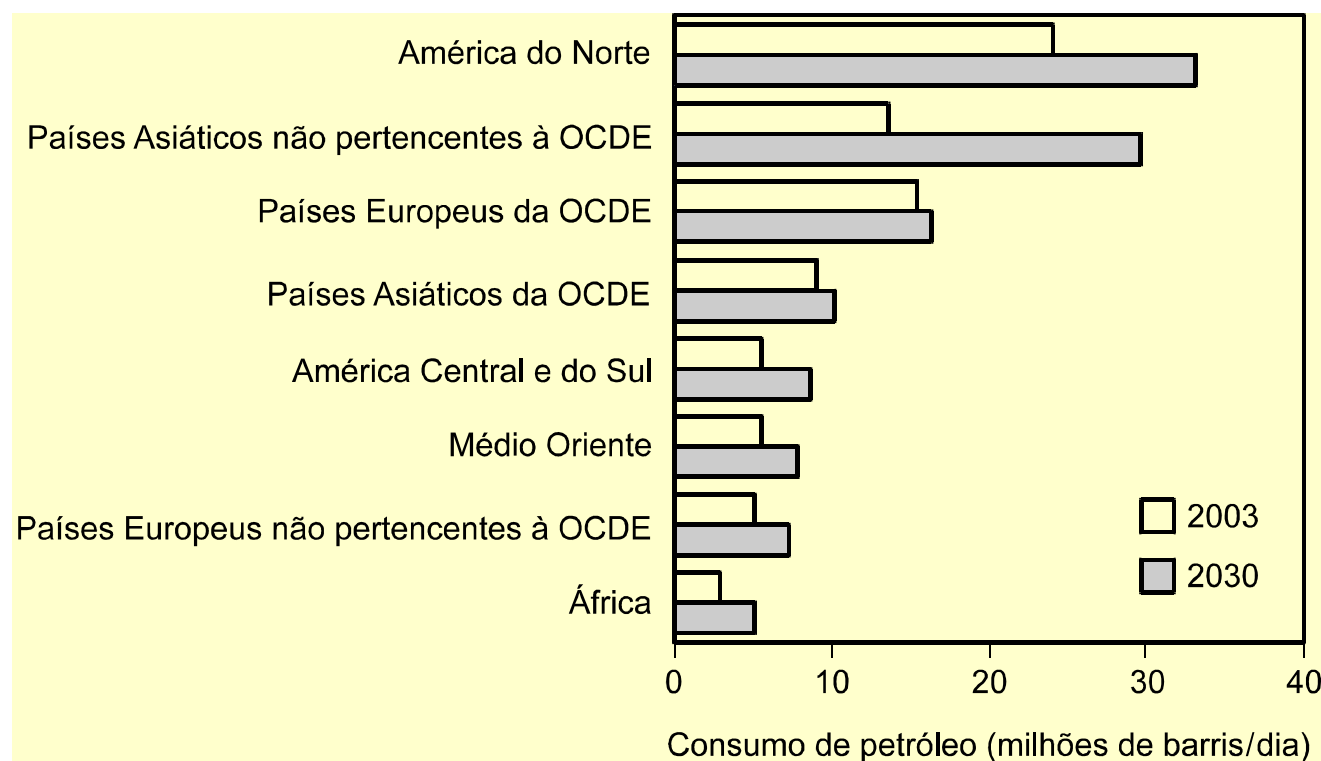
As reservas conhecidas de petróleo bruto são bastante mais limitadas do que as de carvão e encontram-se geograficamente mais concentradas.



Distribuição geográfica das reservas comprovadas de petróleo. O valor indicado para o Canadá inclui areias asfálticas, consideradas uma reserva convencional pela Associação Canadiana dos Produtores de Petróleo. Um barril corresponde a 159 litros. (Dados da EIA, 2006.)

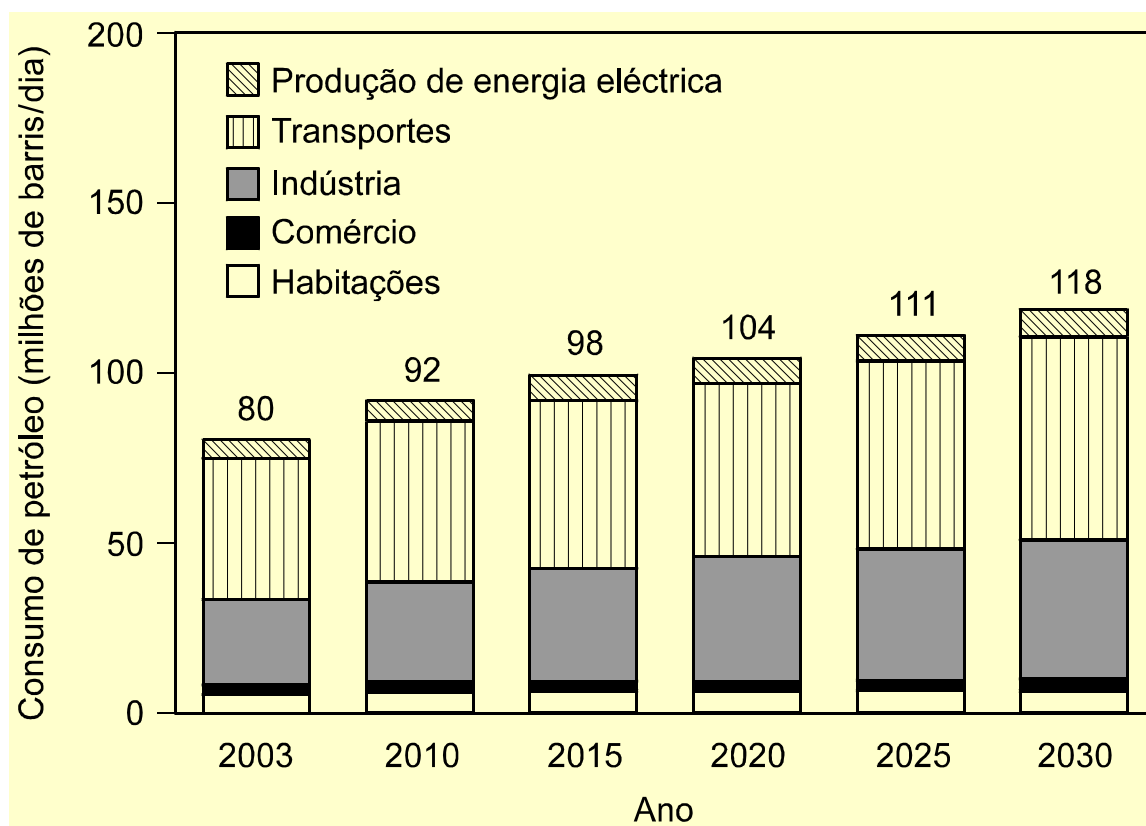
Combustíveis

Prevê-se, no entanto, que durante as próximas duas décadas o petróleo continue a ser o principal combustível a nível mundial.



*Consumo de petróleo por região. Um barril corresponde a 159 litros.
(Dados da EIA, 2006.)*

Combustíveis

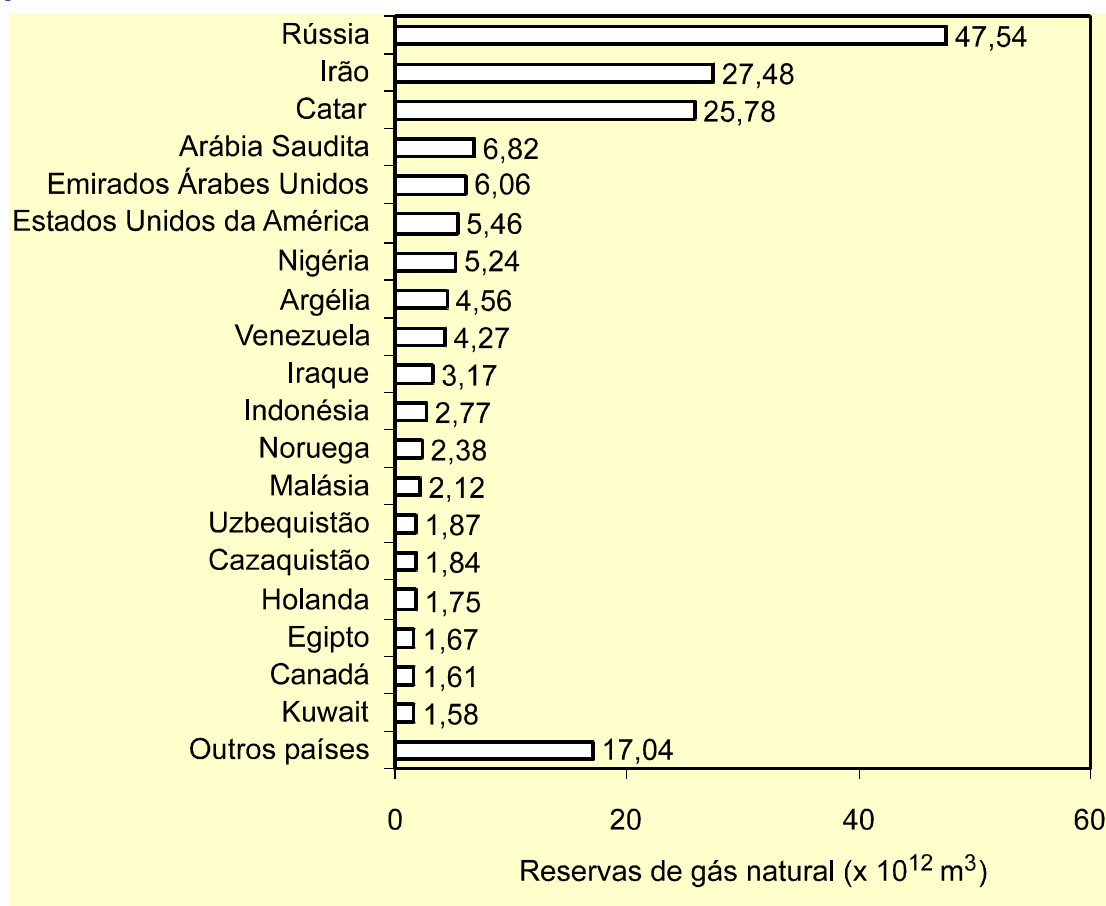


Distribuição do consumo de petróleo por sector de actividade a nível mundial. Um barril corresponde a 159 litros. (Dados da EIA, 2006.)

O aumento previsto para o consumo até 2030 advém, em grande parte, do sector dos transportes, onde há actualmente poucas alternativas competitivas relativamente ao petróleo.

Combustíveis

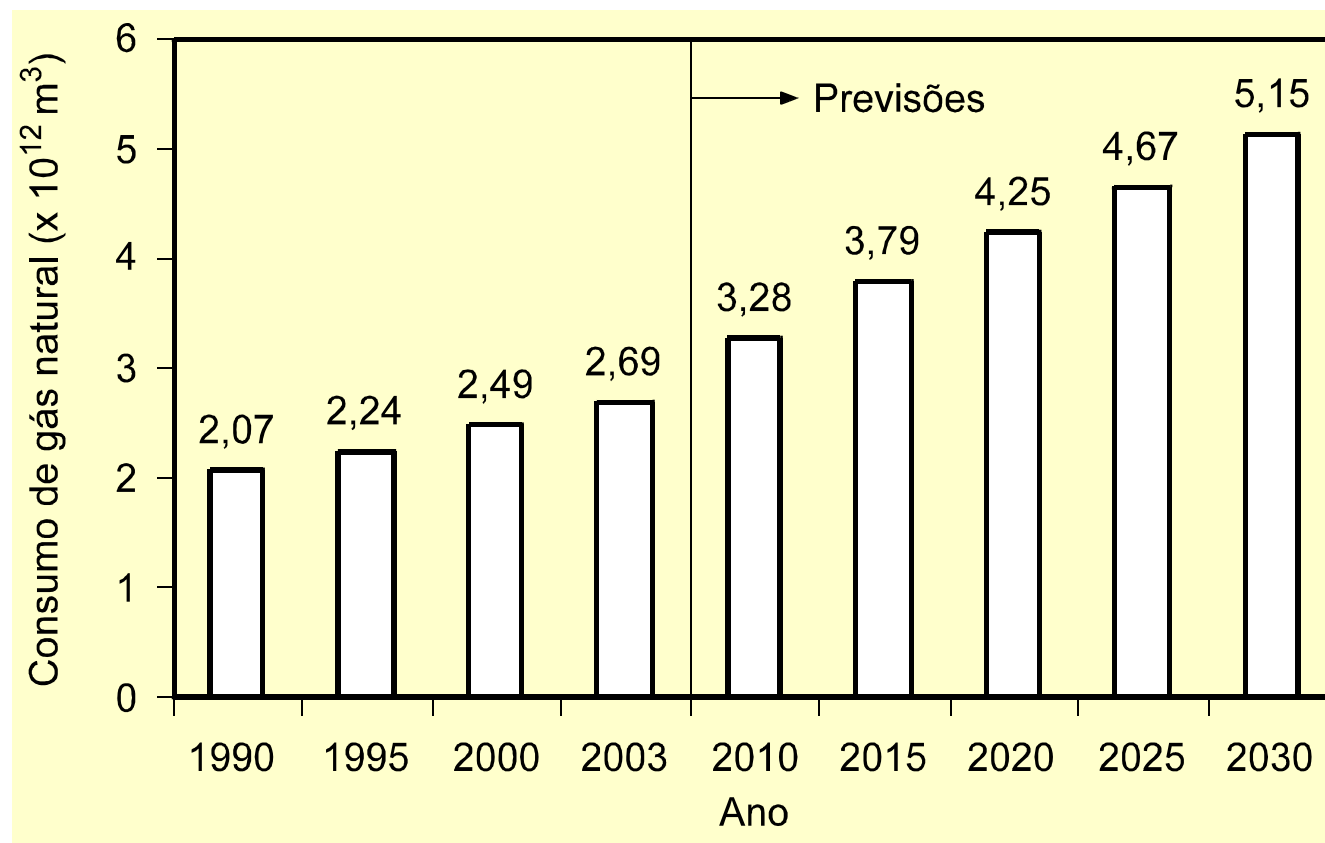
As reservas conhecidas de gás natural, em termos energéticos, excedem ligeiramente as reservas de petróleo.



*Distribuição
geográfica das
reservas
comprovadas de
gás natural. (Dados
da EIA, 2006.)*

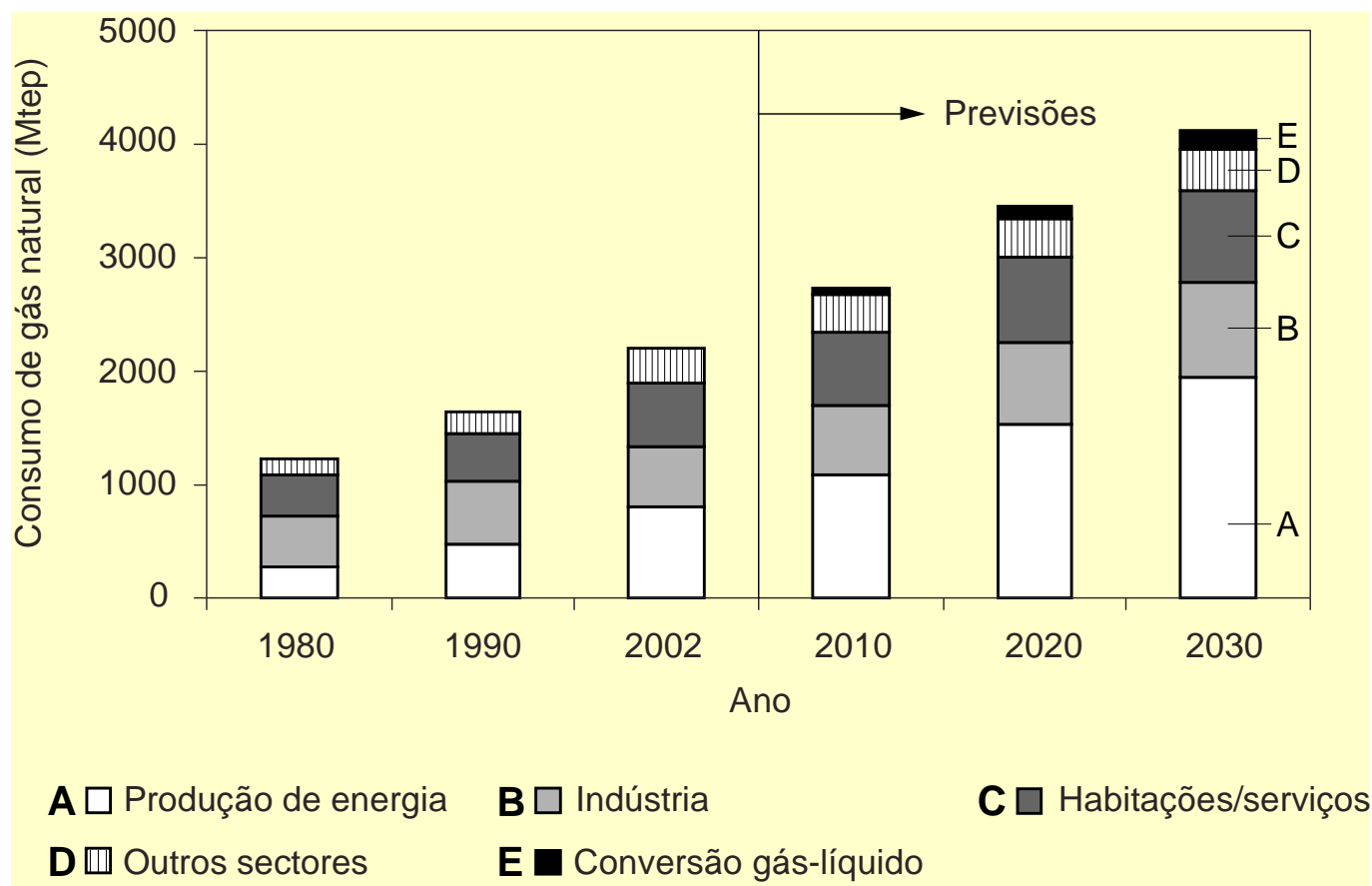
Combustíveis

Tal como o carvão, o gás natural apresenta uma elevada taxa de crescimento no consumo, prevendo-se que este quase duplique entre 2003 e 2030.



Consumo de gás natural a nível mundial. (Dados da EIA, 2006.)

Combustíveis



Distribuição do consumo de gás natural por sector de actividade a nível mundial. Mtep designa $10^6 \times \text{tep}$ e tep é uma tonelada equivalente de petróleo, correspondente a $4,1868 \times 10^{10} \text{ J}$ ou $11,63 \text{ MWh}$. (Dados da IEA, 2004.)

Equipamentos de combustão

Principais equipamentos de combustão:

Motores de combustão interna;

Câmaras de combustão de turbinas a gás;

Fornos;

Caldeiras;

Incineradoras.

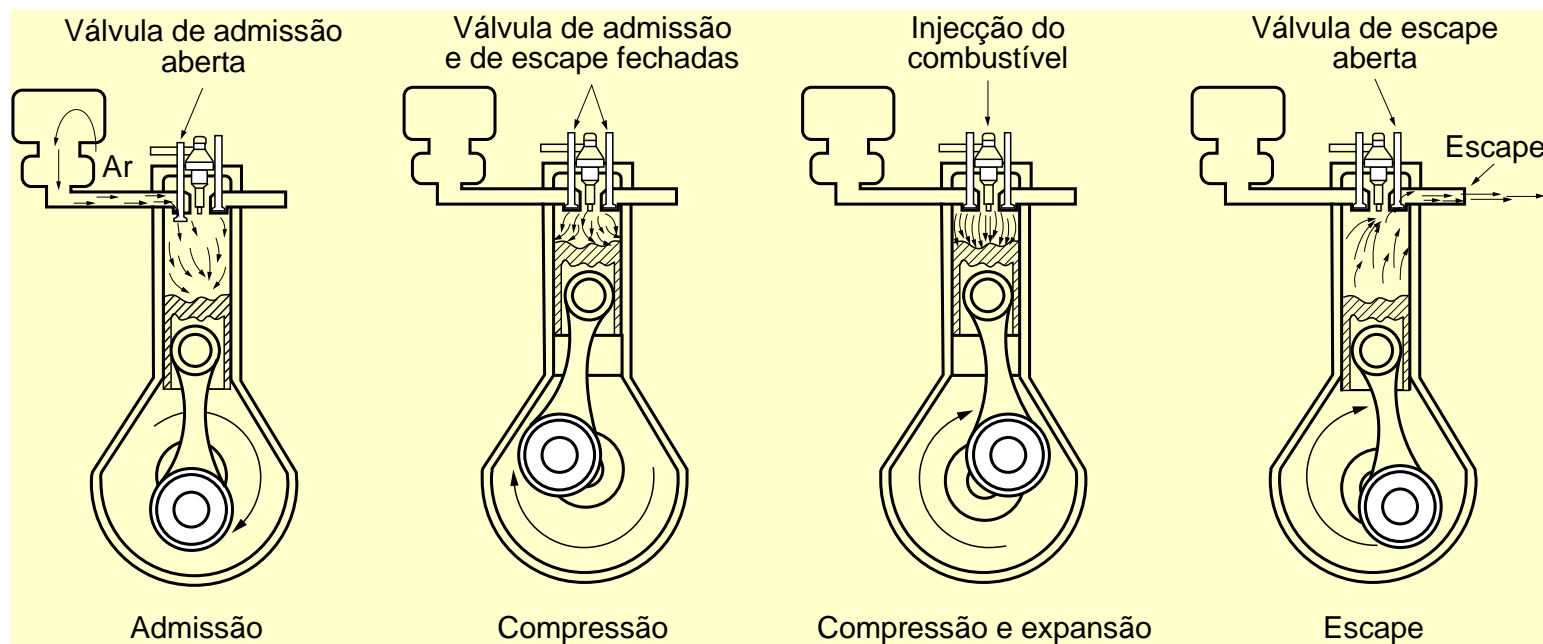
Equipamentos de combustão

Nos motores de combustão interna podem distinguir-se os **motores de explosão**, usados em grande parte dos veículos automóveis ligeiros, alimentados a gasolina, e os **motores Diesel**, alimentados a gasóleo, usados em veículos automóveis ligeiros e pesados, transportes marítimos e aplicações industriais.

Tradicionalmente, nos **motores de explosão** a gasolina mistura-se com o ar no carburador, que fornece uma mistura de pequenas gotas de combustível dispersas no seio do ar e que vaporizam rapidamente, formando uma mistura de vapor de combustível e ar.

Nos **motores Diesel**, o gasóleo é introduzido no seio do ar comprimido sob a forma de um spray formado pela injeção de combustível através de pequenos orifícios.

Equipamentos de combustão



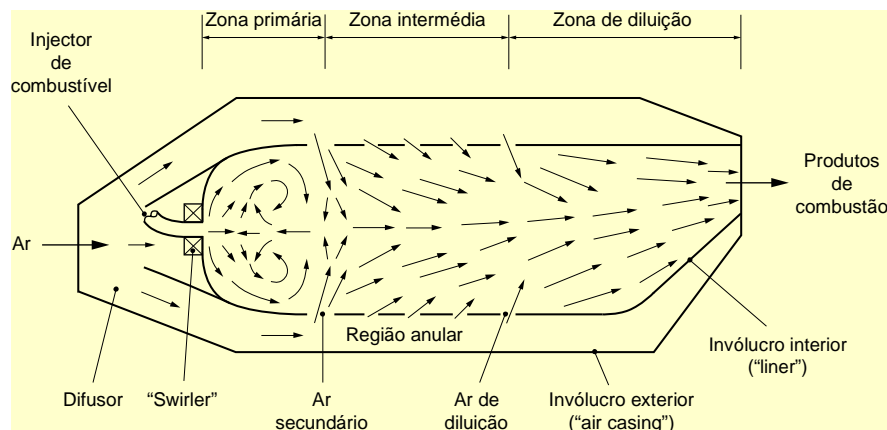
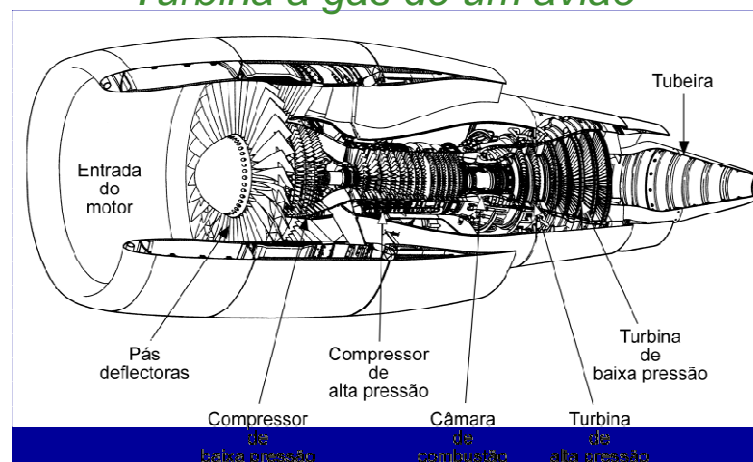
Motor de combustão interna Diesel a 4 tempos

Equipamentos de combustão

As **turbinas a gás** são usadas na aviação e na produção de energia.



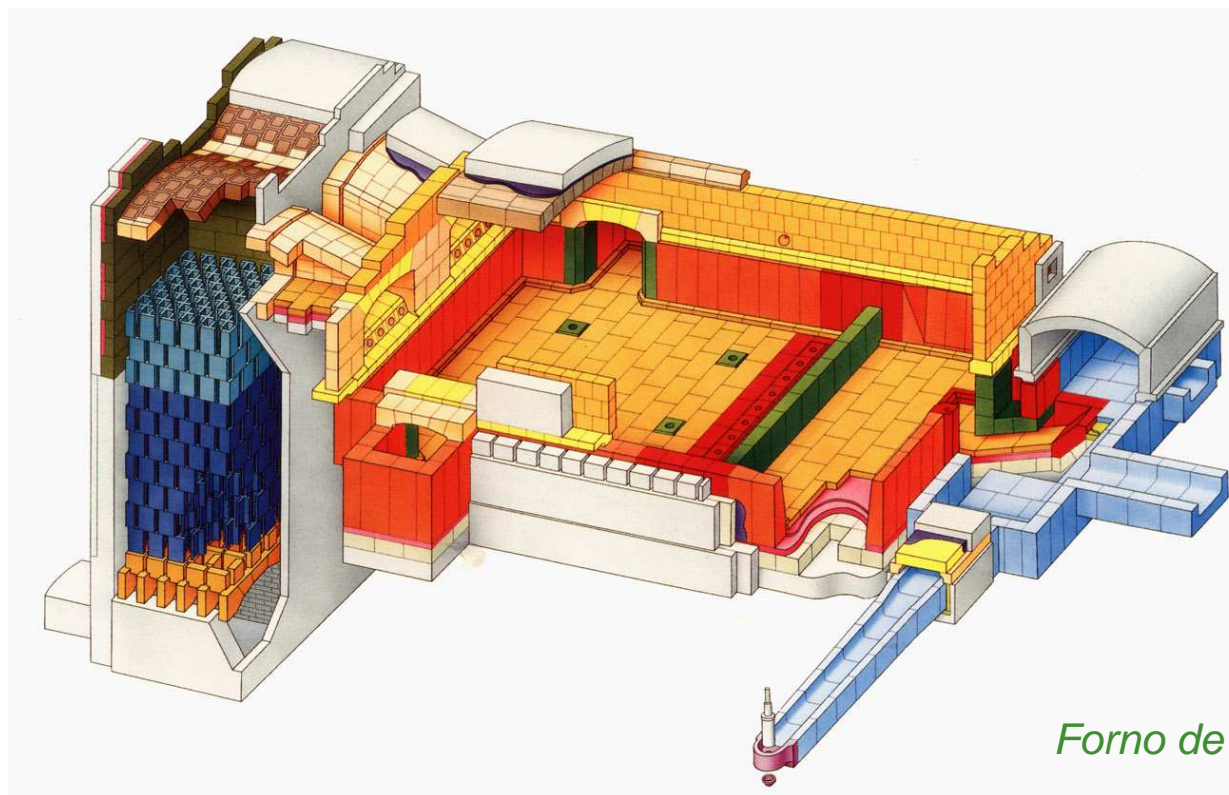
Turbina a gás de um avião



Representação esquemática da câmara de combustão de uma turbina a gás

Equipamentos de combustão

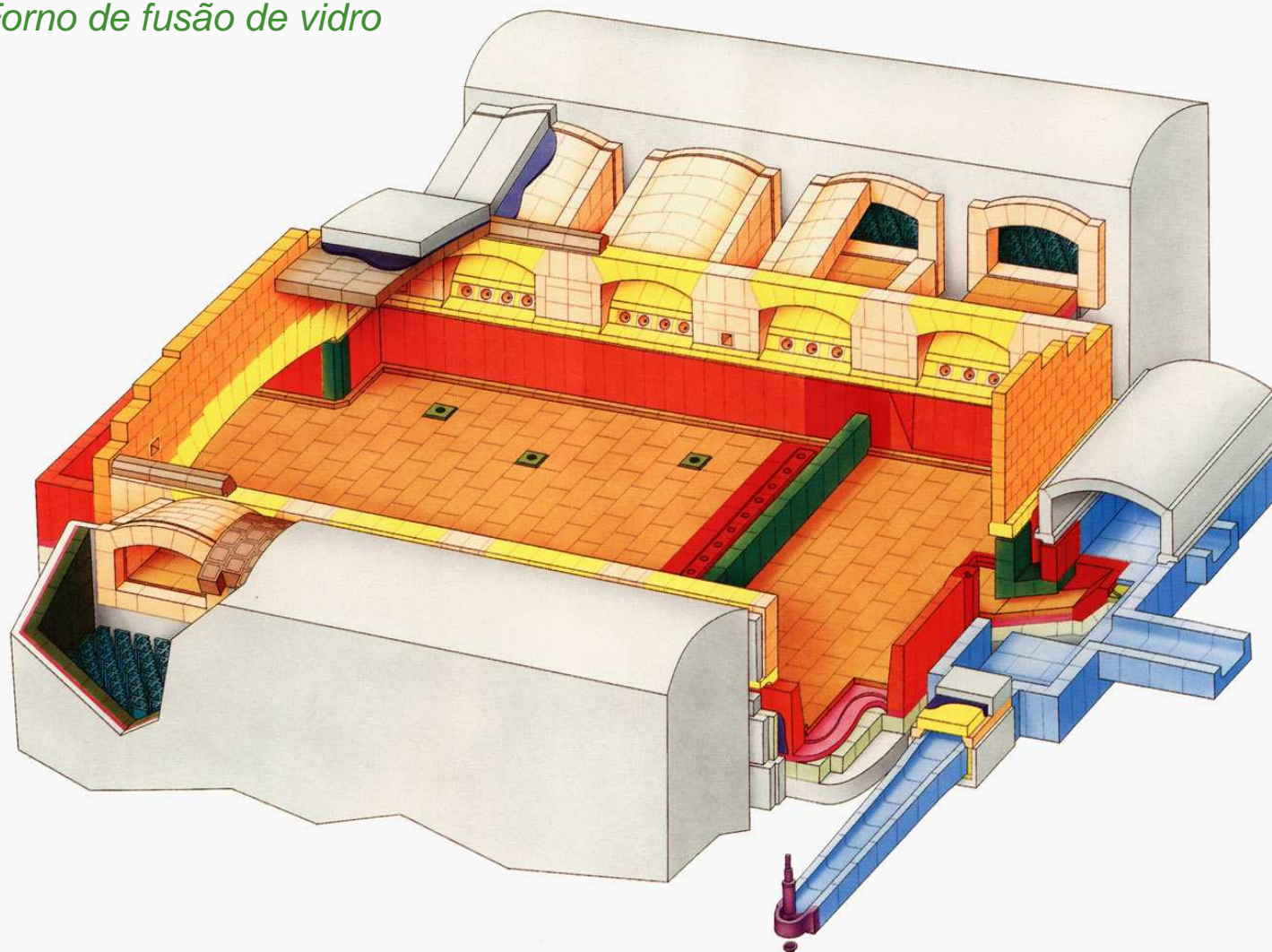
Os **fornos** são usados em múltiplas aplicações industriais, por exemplo, em processos de fabrico e tratamento térmico de materiais, tais como o aço, alumínio, vidro, materiais cerâmicos, cimento, em processos de secagem, etc.



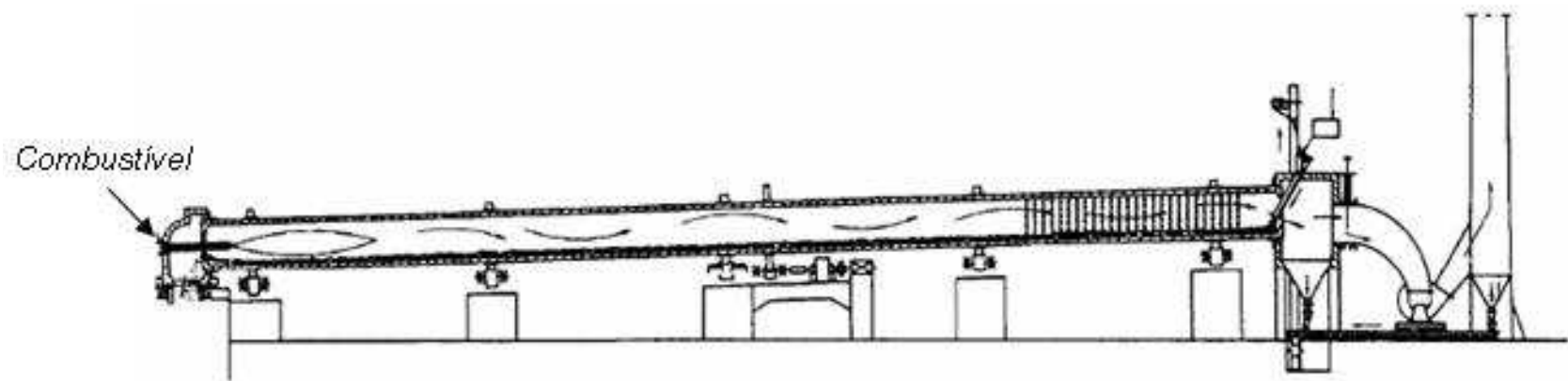
Forno de fusão de vidro

Equipamentos de combustão

Forno de fusão de vidro



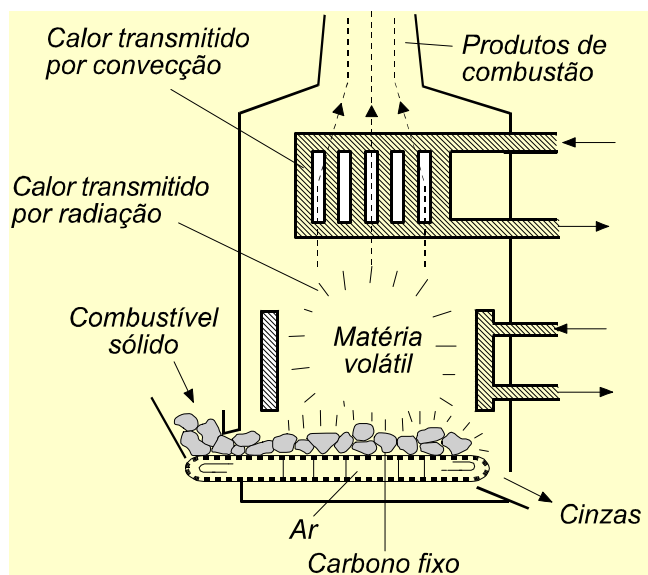
Equipamentos de combustão



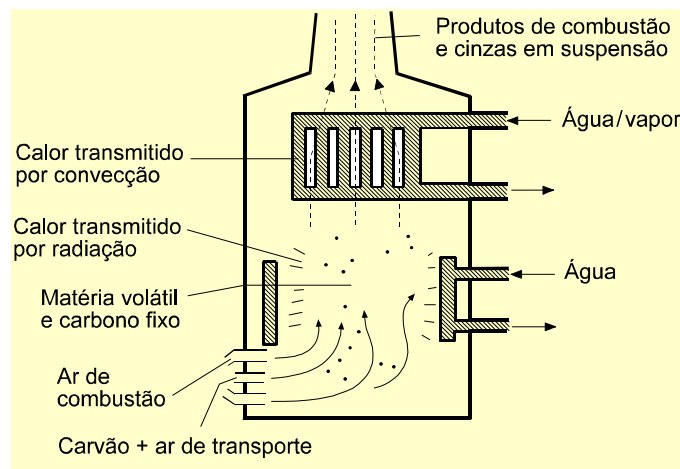
Forno rotativo

Equipamentos de combustão

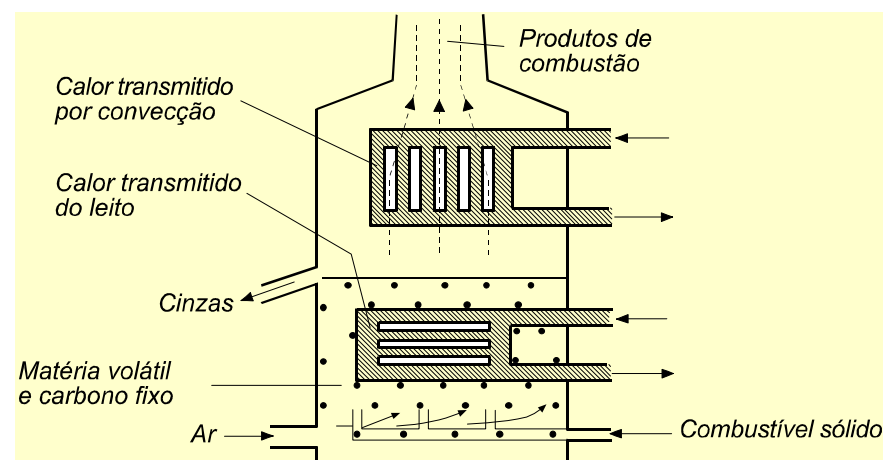
As **caldeiras** produzem vapor de água, utilizado para produção de energia eléctrica, aquecimento de água e processos industriais.



Caldeira com combustão em grelha móvel



Caldeira com combustão de partículas em suspensão



Caldeira com combustão em leito fluidizado

Equipamentos de combustão

Caldeira com combustão de partículas em suspensão

Fiddlers' Ferry Power Station



Equipamentos de combustão

Caldeira com combustão de partículas em suspensão

Central termoelétrica

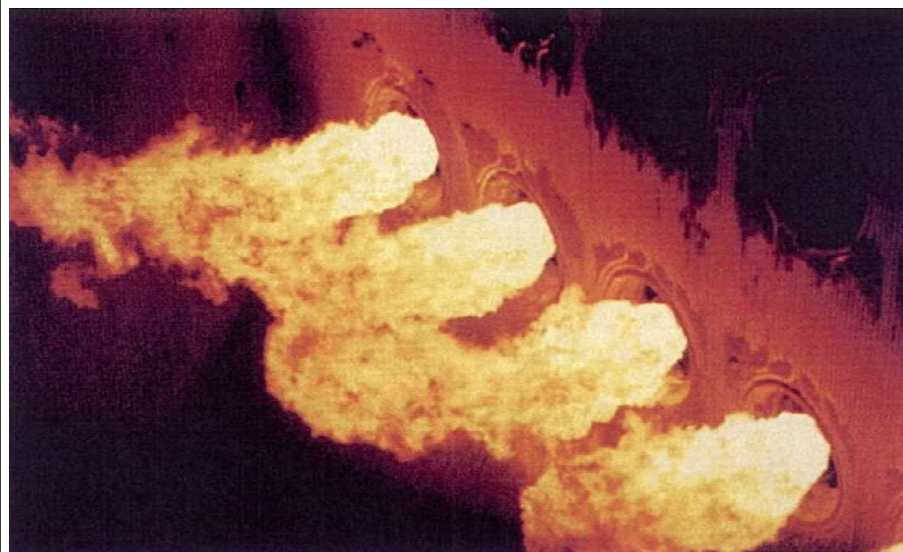
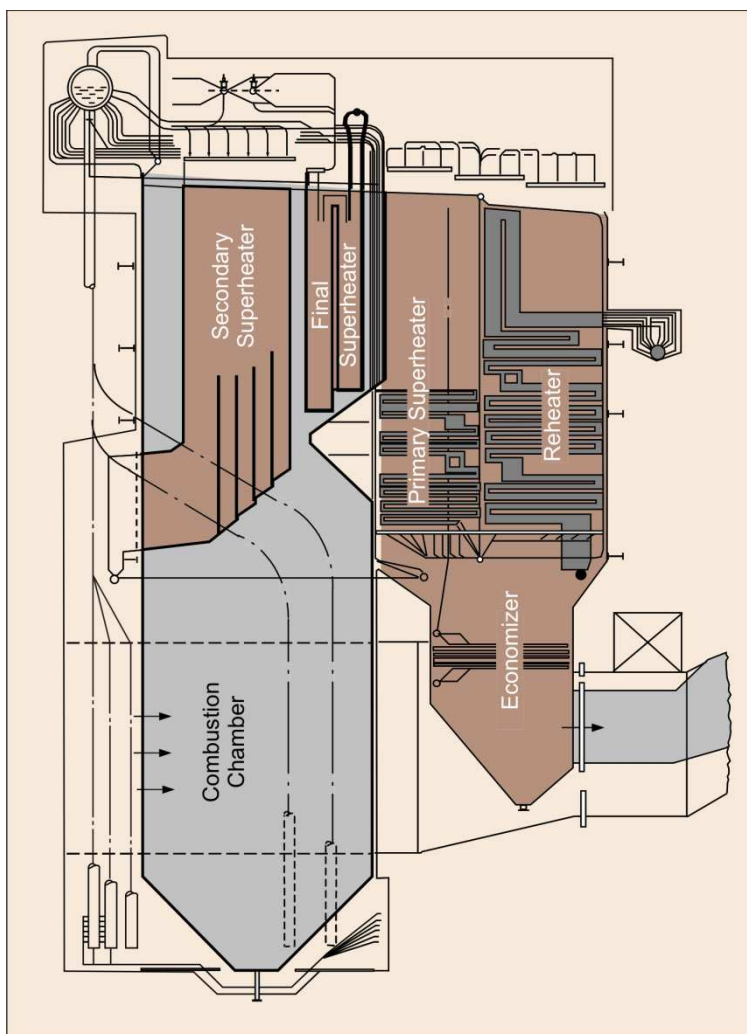


Grupo de produção de energia eléctrica de uma central termoelétrica – Caldeira



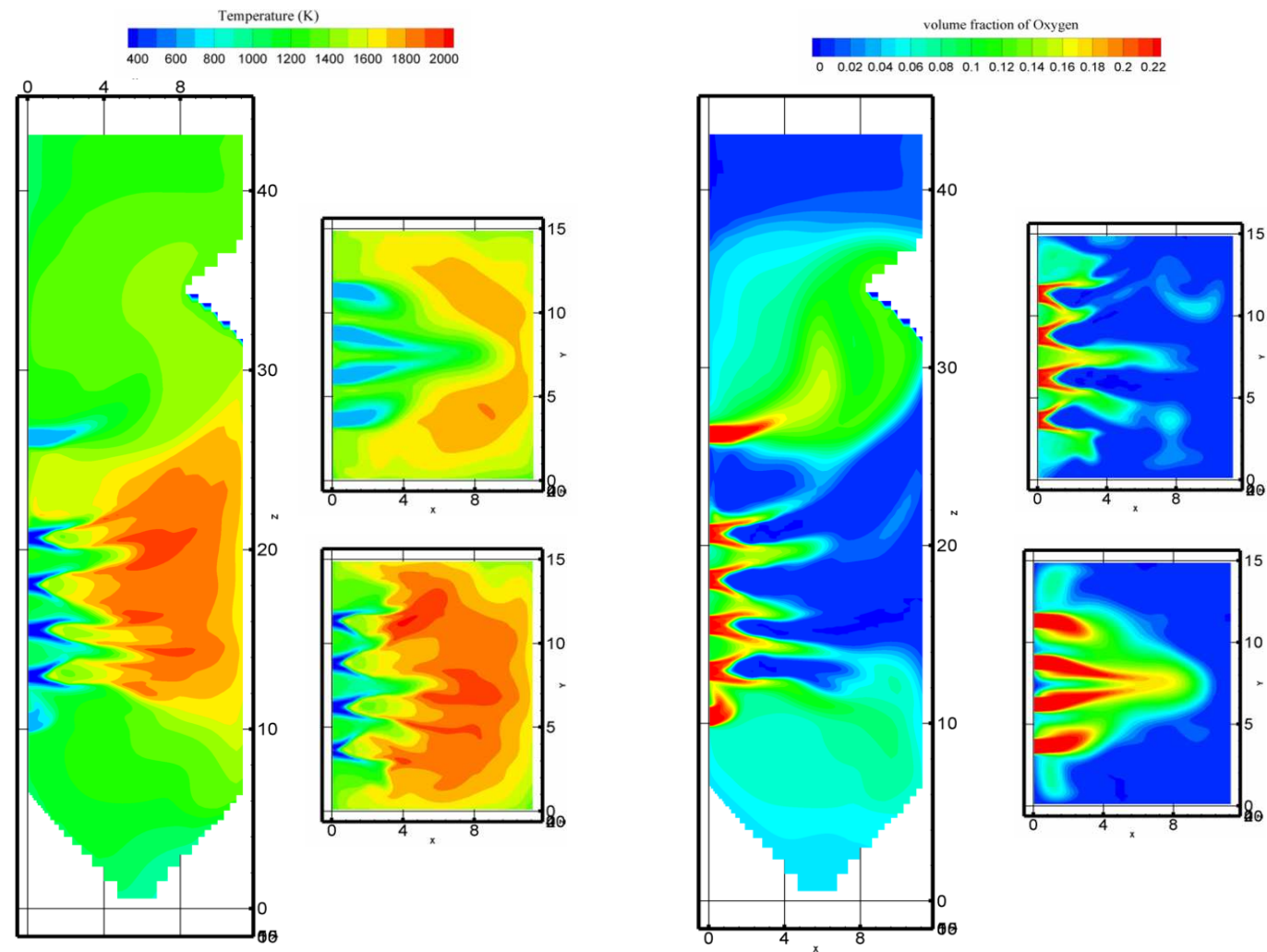
Equipamentos de combustão

Caldeira com combustão de partículas em suspensão



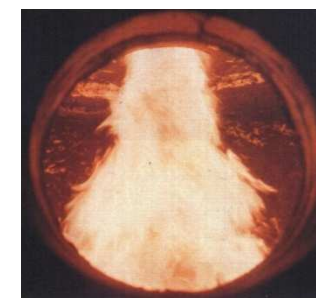
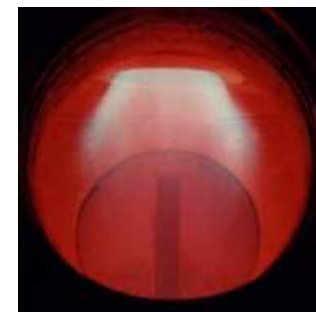
Equipamentos de combustão

Caldeira com combustão de partículas em suspensão



Equipamentos de combustão

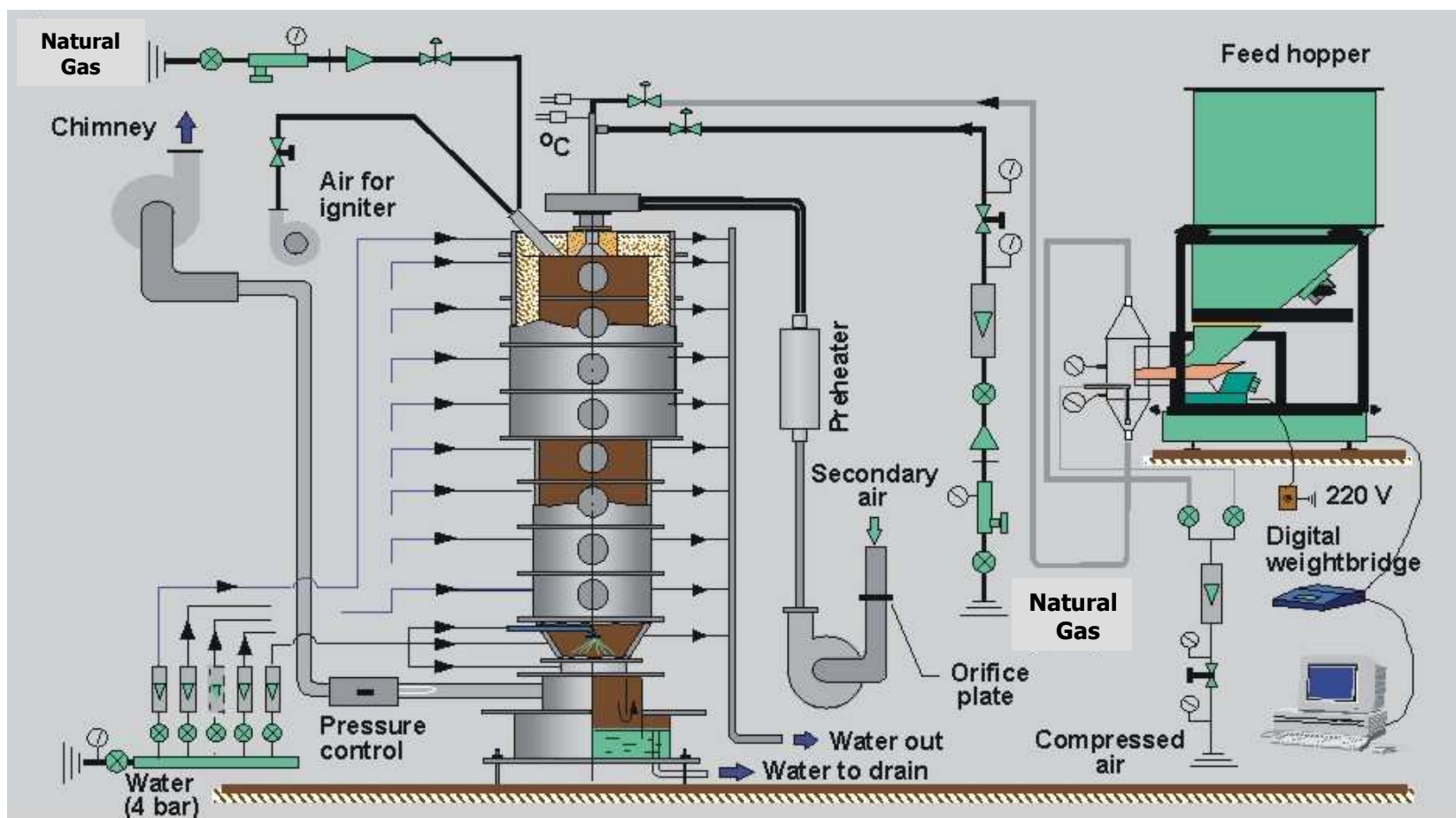
Caldeira com combustão de partículas em suspensão



Equipamentos de combustão

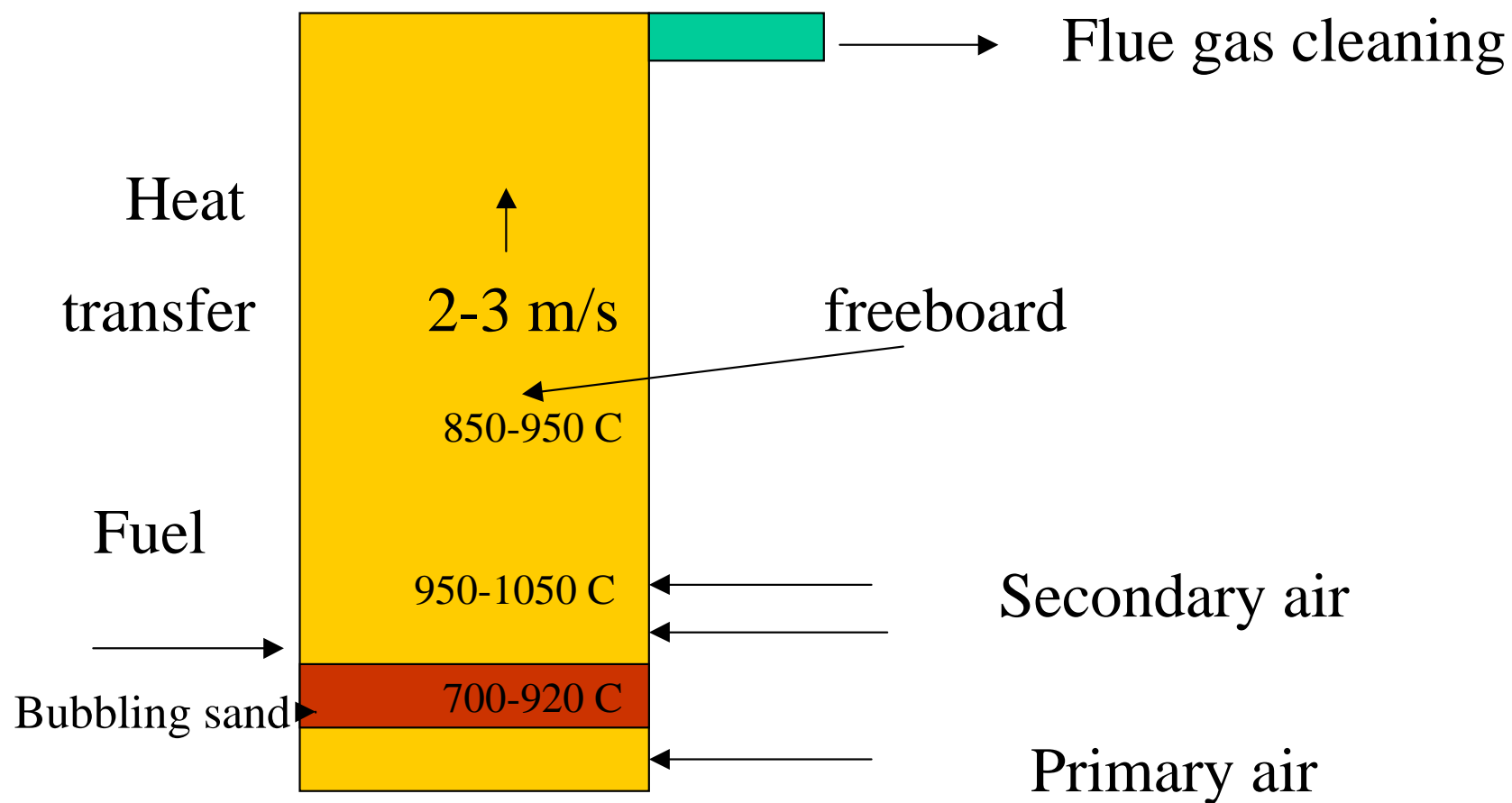
Caldeira com combustão de partículas em suspensão

Fornalha do IST



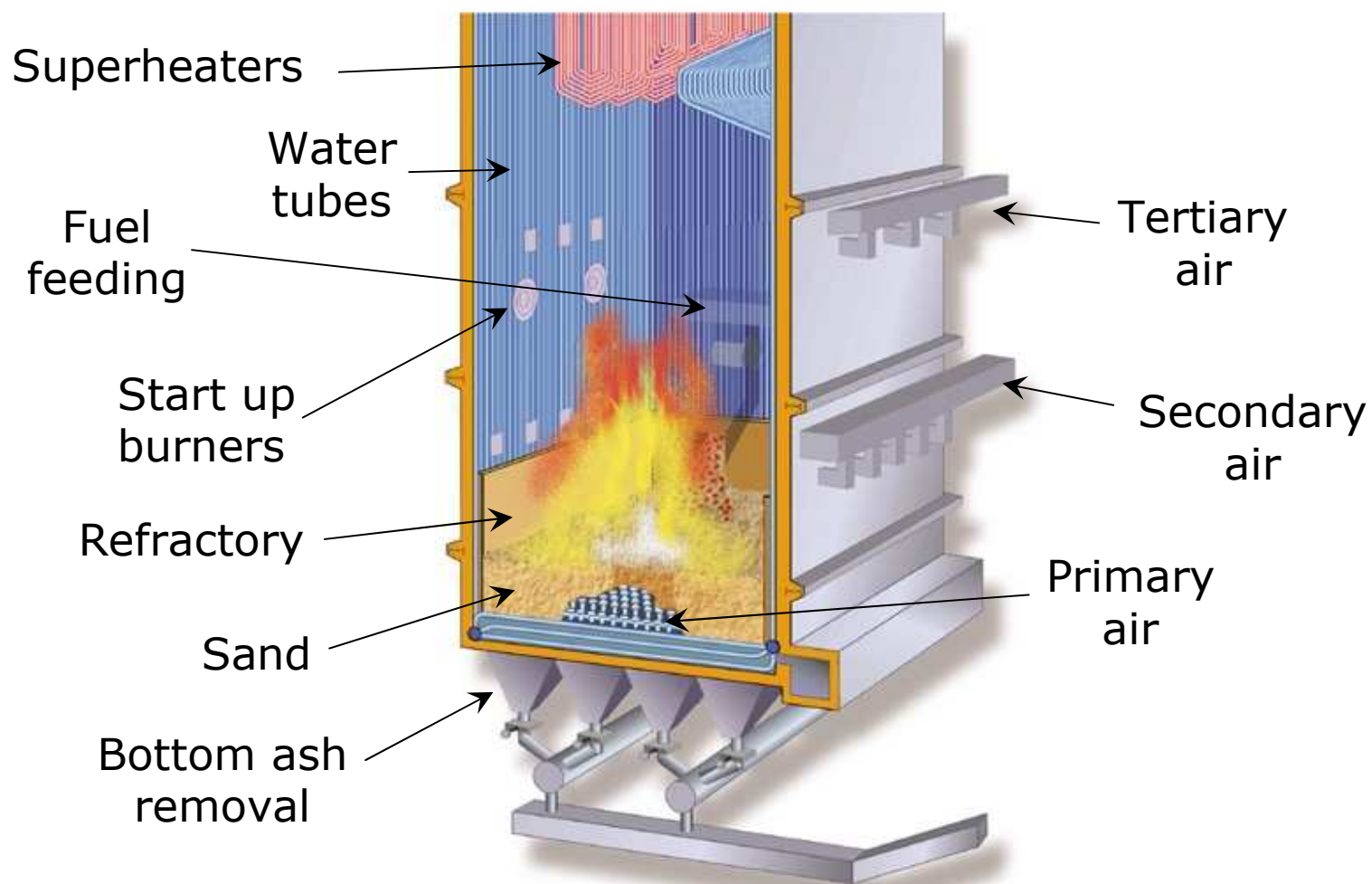
Equipamentos de combustão

Caldeira com combustão em leito fluidizado borbulhante



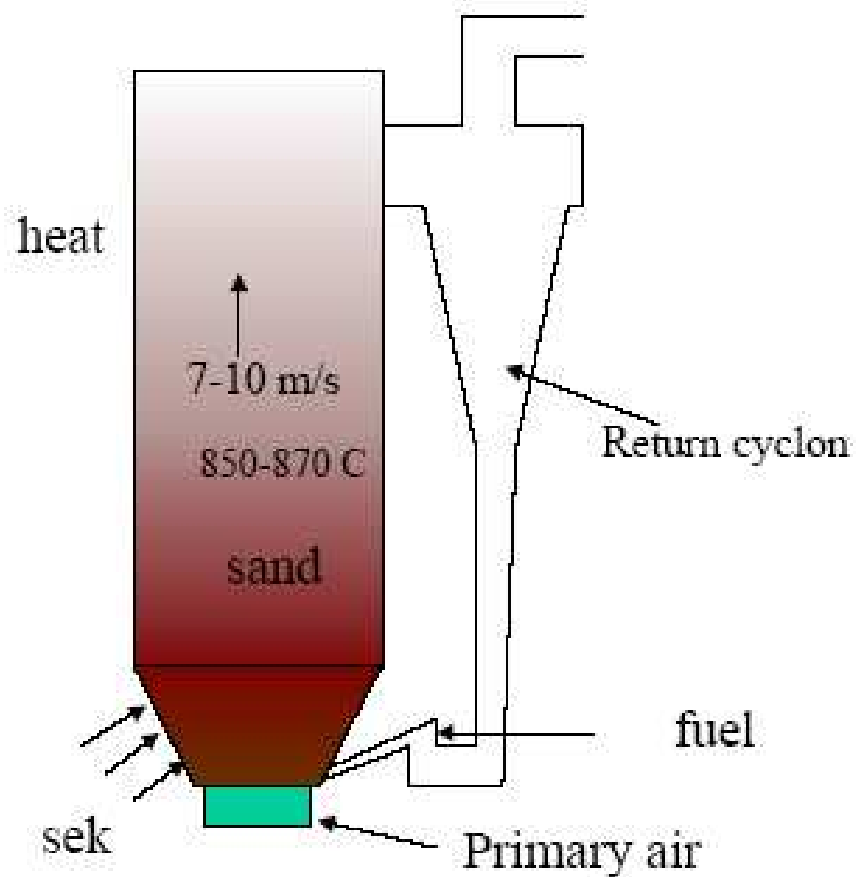
Equipamentos de combustão

Caldeira com combustão em leito fluidizado borbulhante



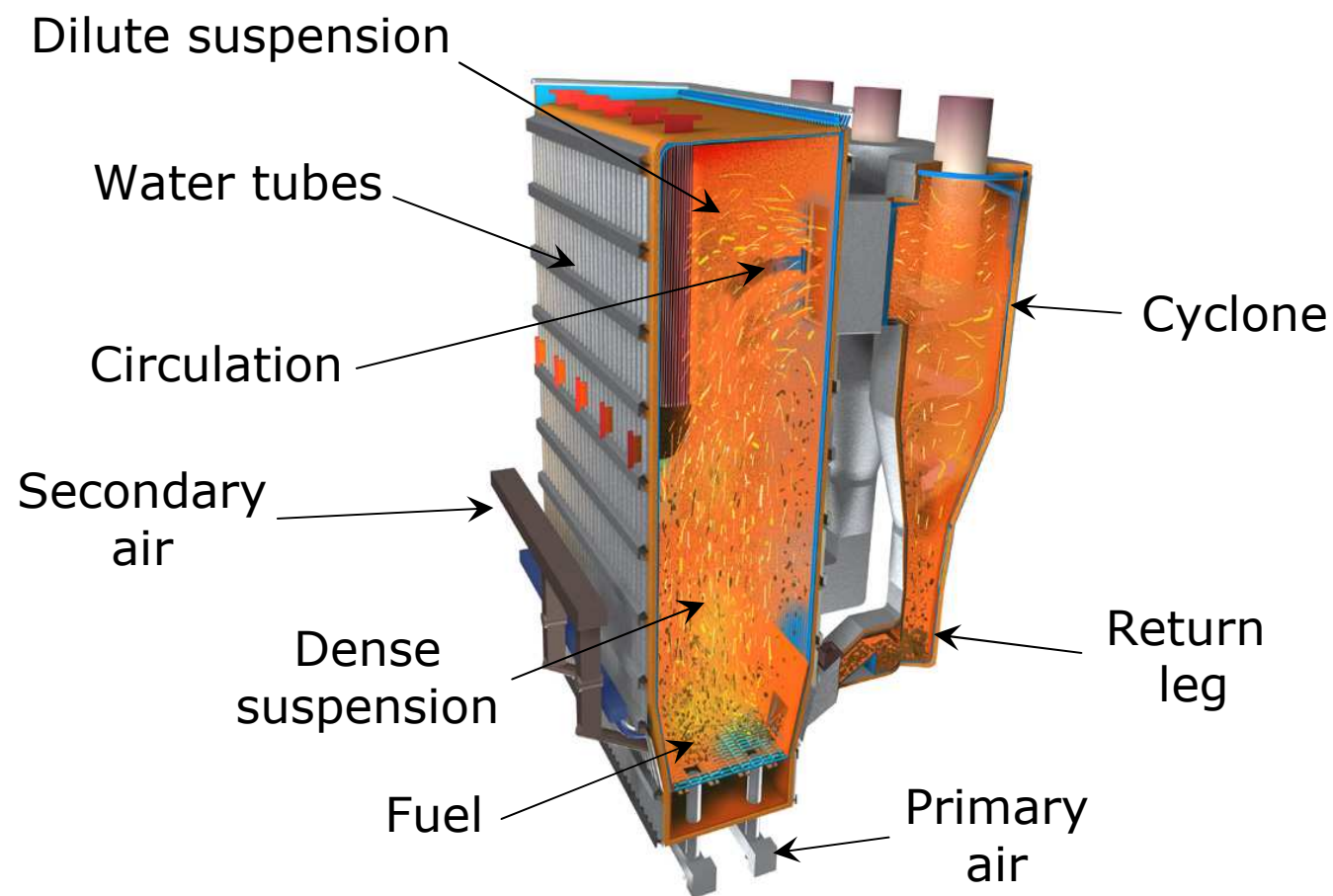
Equipamentos de combustão

Caldeira com combustão em leito fluidizado circulante



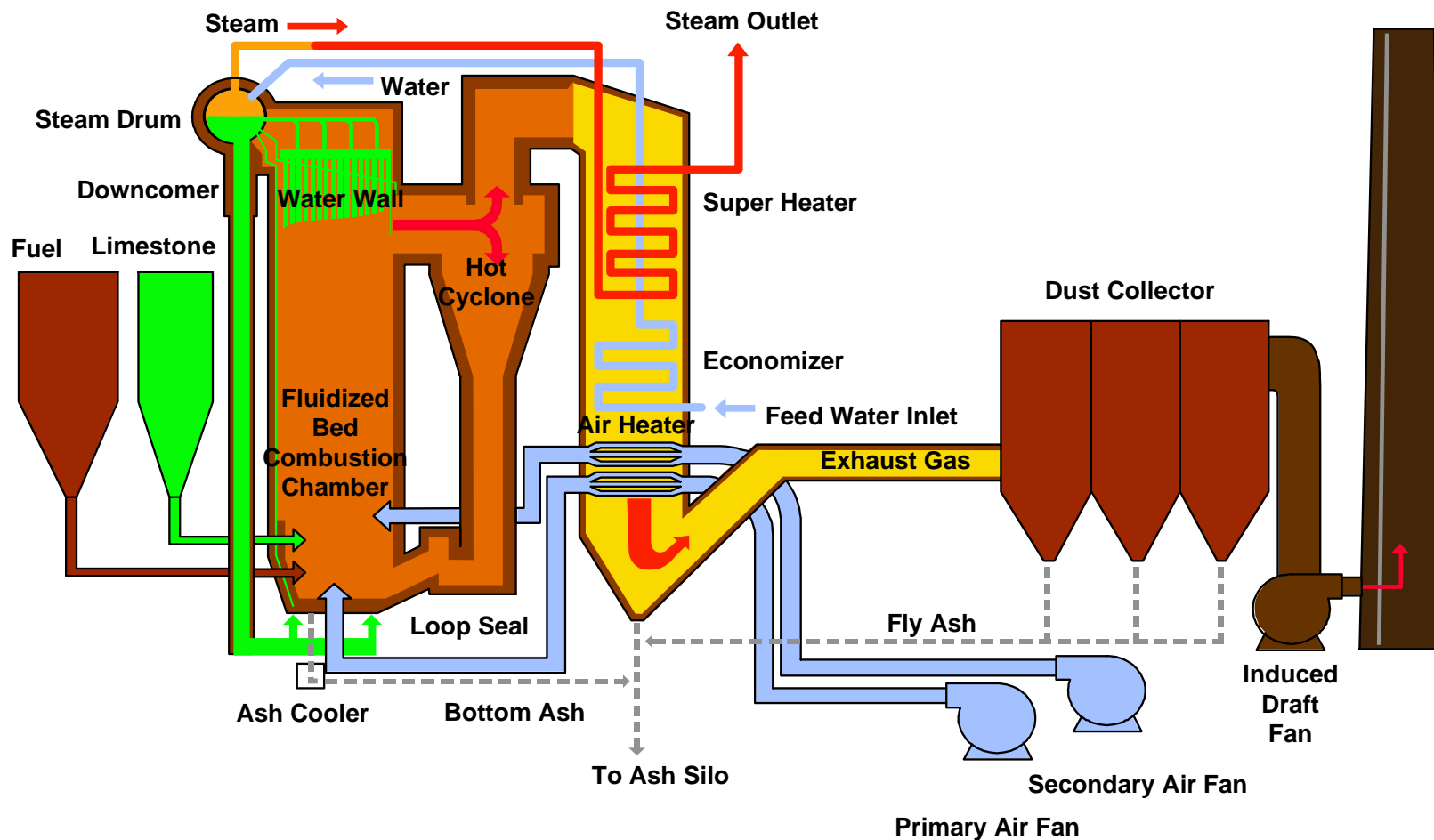
Equipamentos de combustão

Caldeira com combustão em leito fluidizado circulante



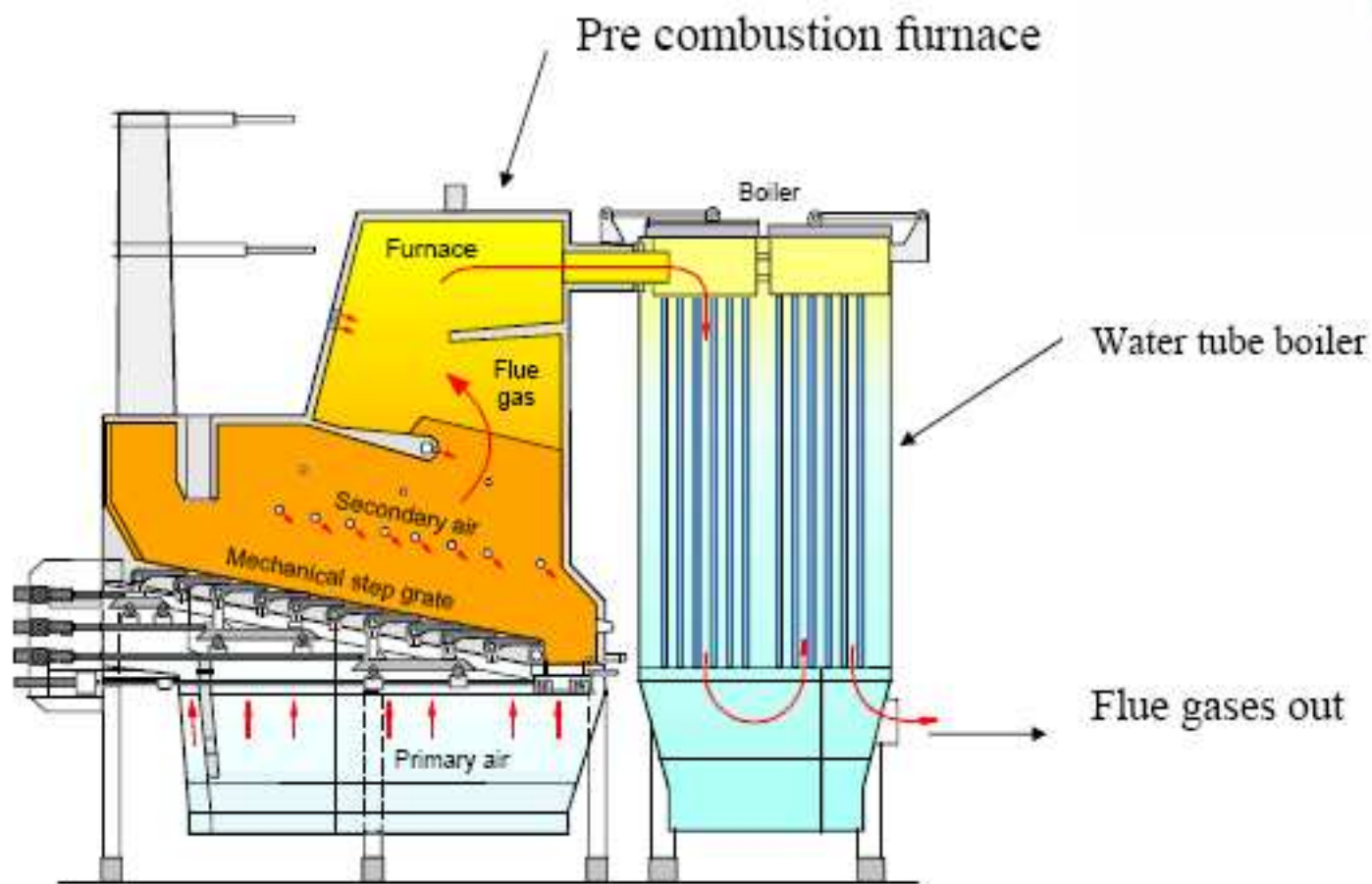
Equipamentos de combustão

Caldeira com combustão em leito fluidizado circulante



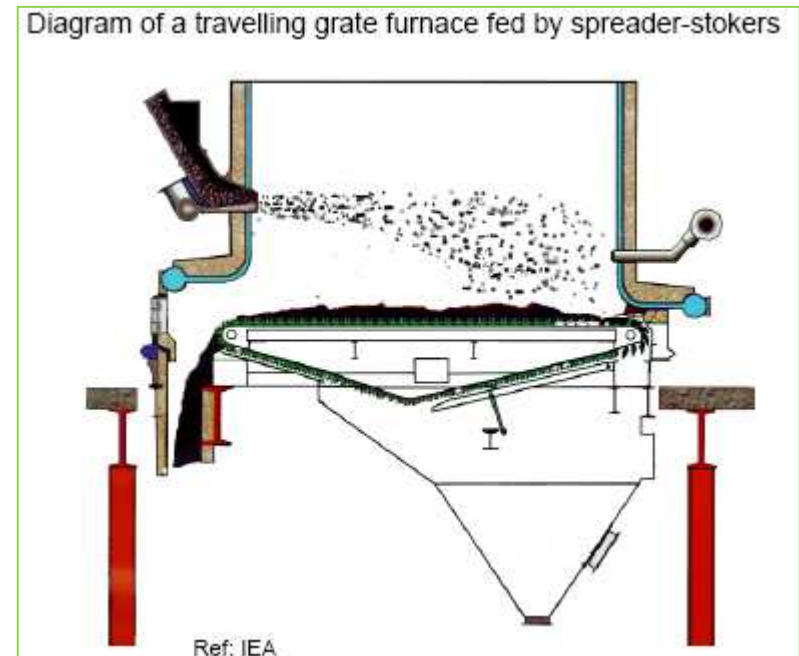
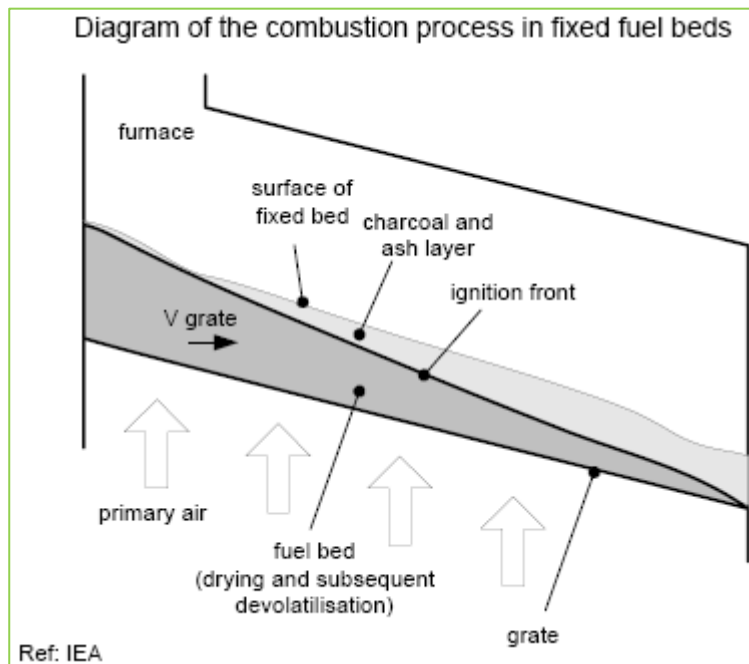
Equipamentos de combustão

Caldeira com combustão em grelha



Equipamentos de combustão

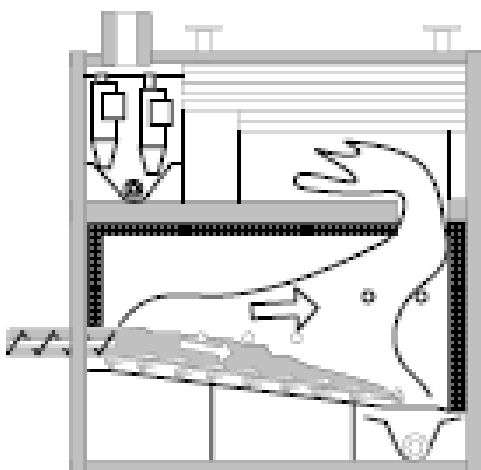
Caldeira com combustão em grelha



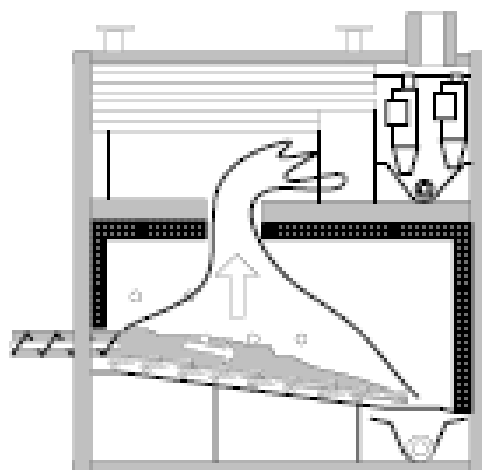
Equipamentos de combustão

Caldeira com combustão em grelha

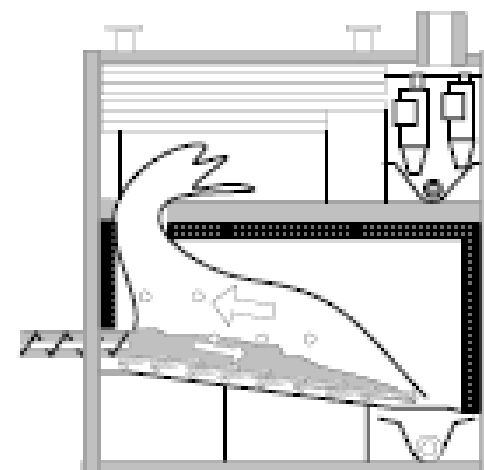
Co-current



Cross-current

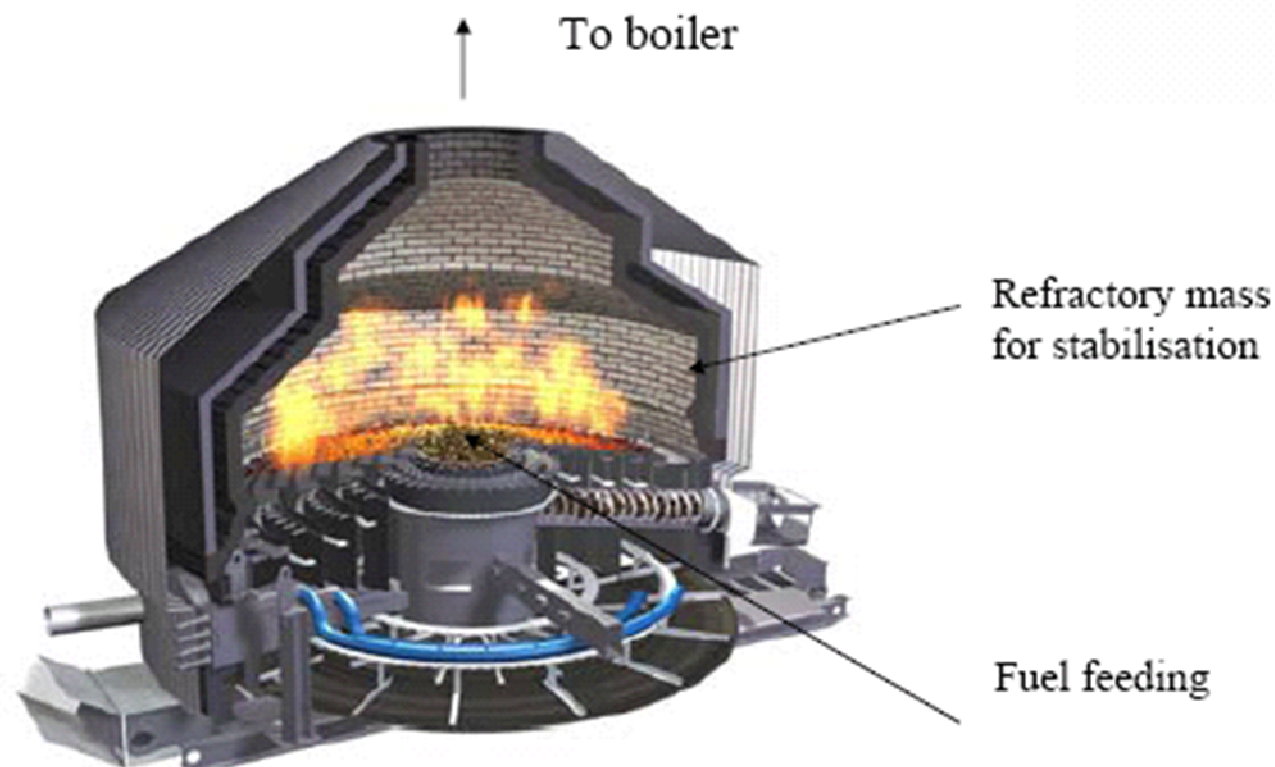


Counter-current



Equipamentos de combustão

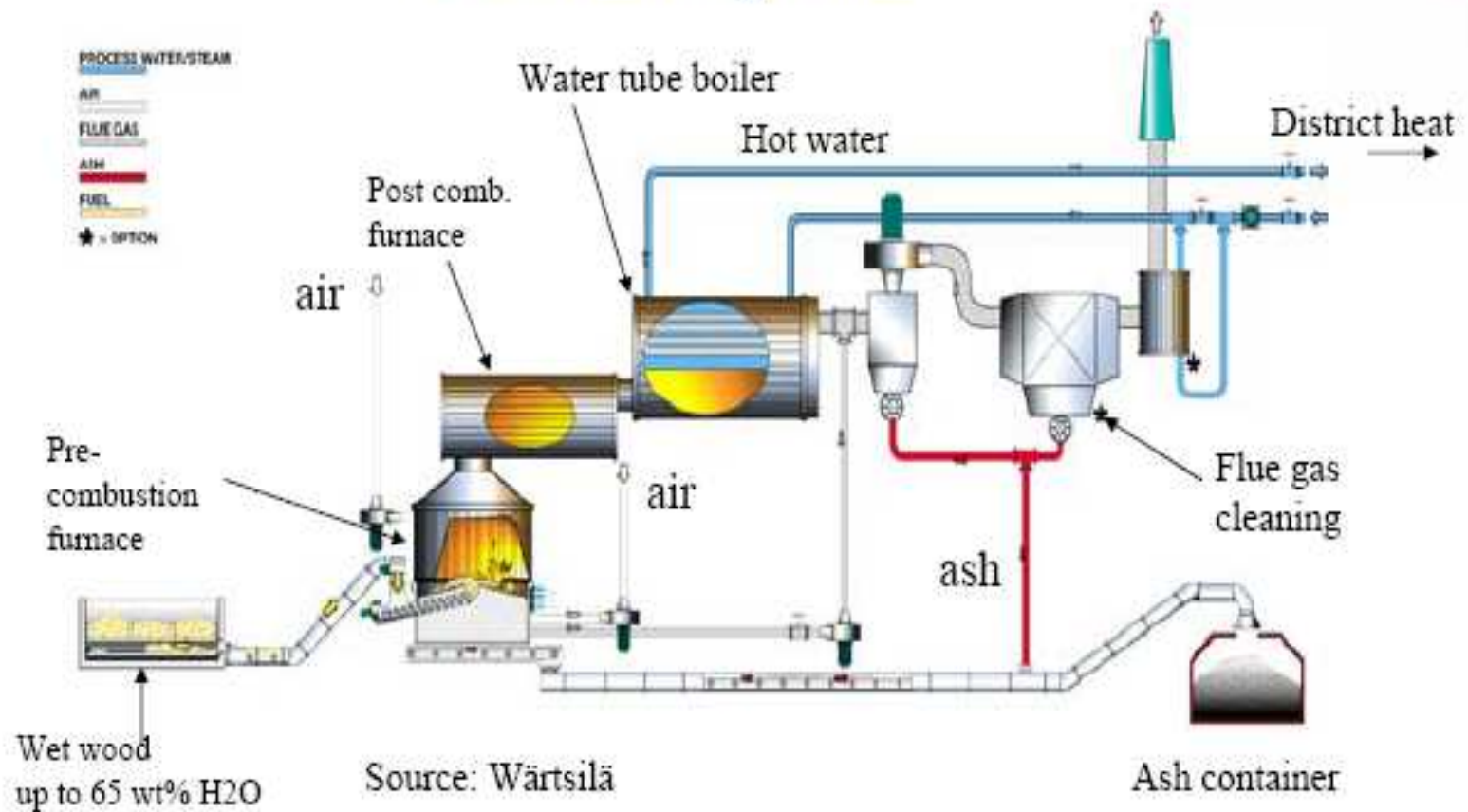
Caldeira com combustão em grelha



Source: Wärtsilä

Equipamentos de combustão

Caldeira com combustão em gelha



Equipamentos de combustão

Comparação das Características Principais dos Processos de Combustão em Suspensão, em Grelha e em Leito Fluidizado

Característica	Processo de combustão		
	Suspensão	Grelha	Leito fluidizado
Eficiência da combustão (%)	99	70-90	90-99
Eficiência térmica global (%)	35-45	25-35	40-55
Excesso de ar (%)	15-50	20-40	10-25
Granulometria do combustível (mm)	< 0.5	12-20	8
Temperatura de operação (°C)	1400-1700	1400-1700	800-1000
Emissões de NO _x	Alta	Alta	Baixa
Captura de SO _x (%)	–	–	80-90

Equipamentos de combustão

As **incineradoras** são equipamentos utilizados para queima de resíduos urbanos e industriais.

Ao contrário dos restantes equipamentos, o objectivo principal das incineradoras é precisamente a queima do combustível, ou seja, dos resíduos.

A energia libertada nessa queima é utilizada para produção de energia ou calor.

A incineração é usada desde há muitos anos, mas apresenta renovado interesse devido à escassez de terrenos para construção de aterros sanitários em áreas densamente povoadas e às poucas alternativas para a eliminação de resíduos e lixos tóxicos.

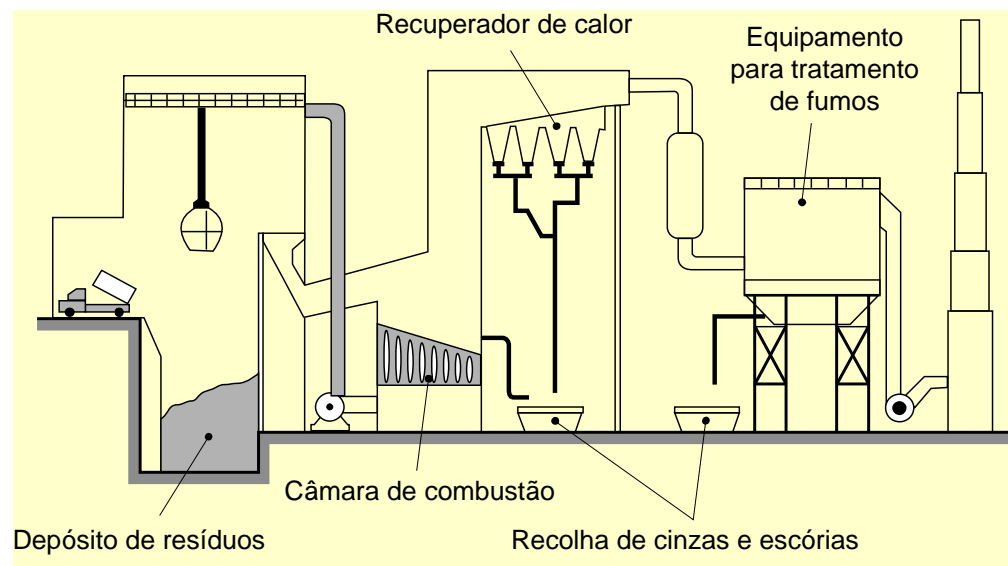
Equipamentos de combustão



VALORSUL (Portugal)

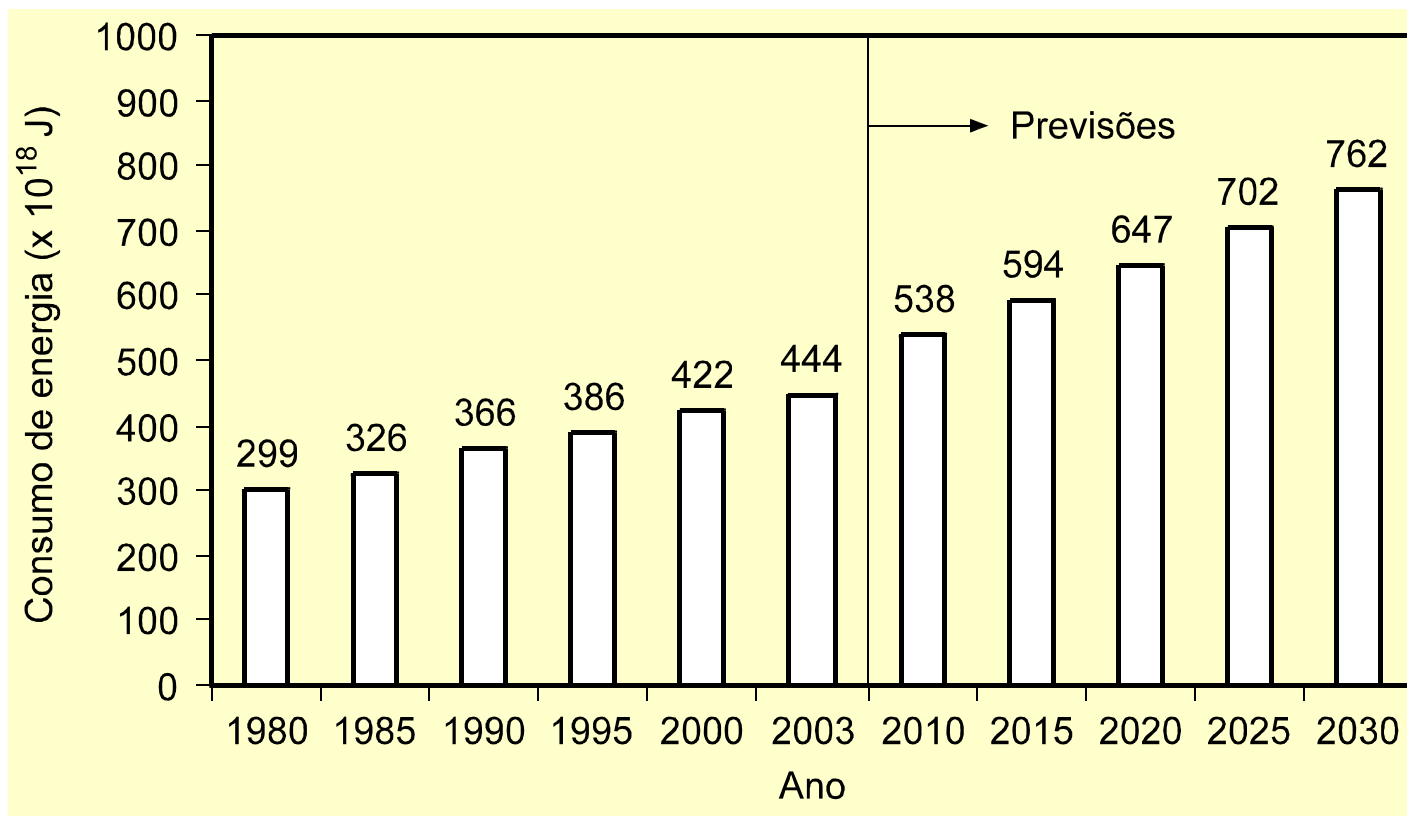


Unidade de incineração de resíduos



Combustão e energia

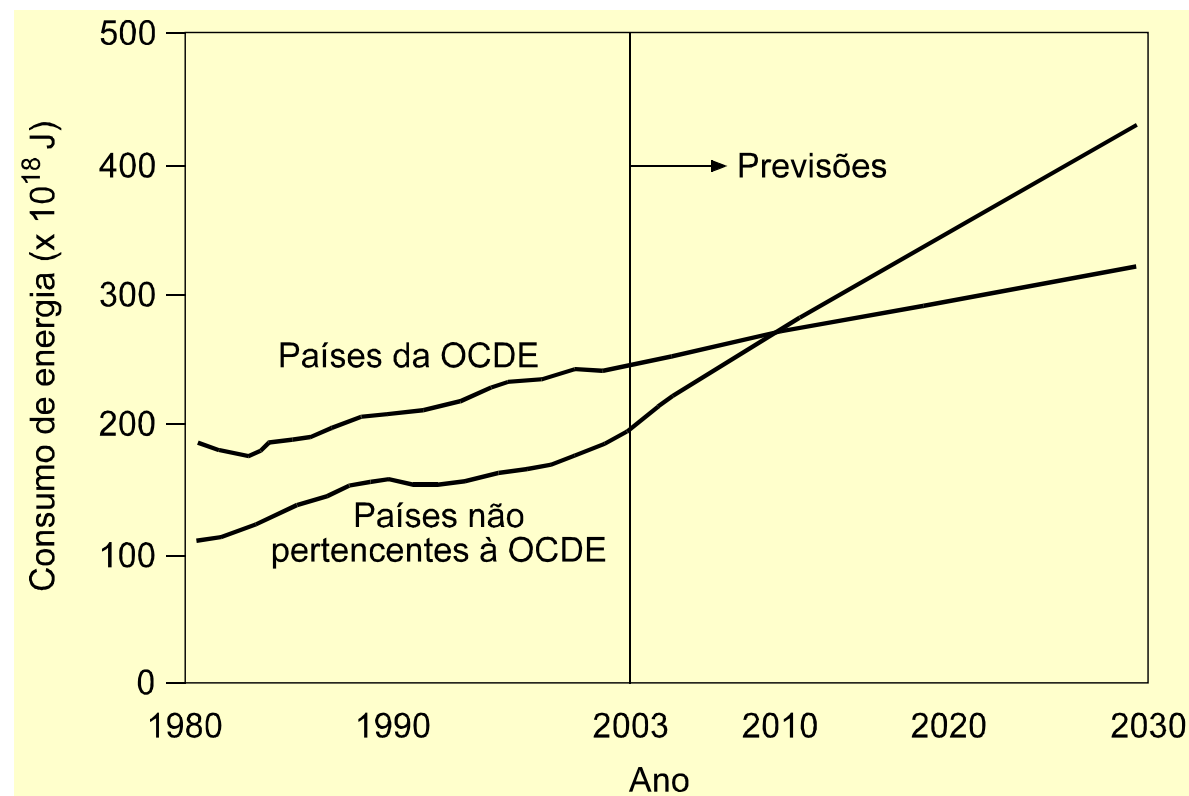
O consumo de energia a nível mundial aumentou de forma dramática durante o século XX, prevendo-se que essa tendência se traduza num aumento de cerca de 2% ao ano entre 2003 e 2030.



Consumo de energia a nível mundial. (Dados da EIA, 2006.)

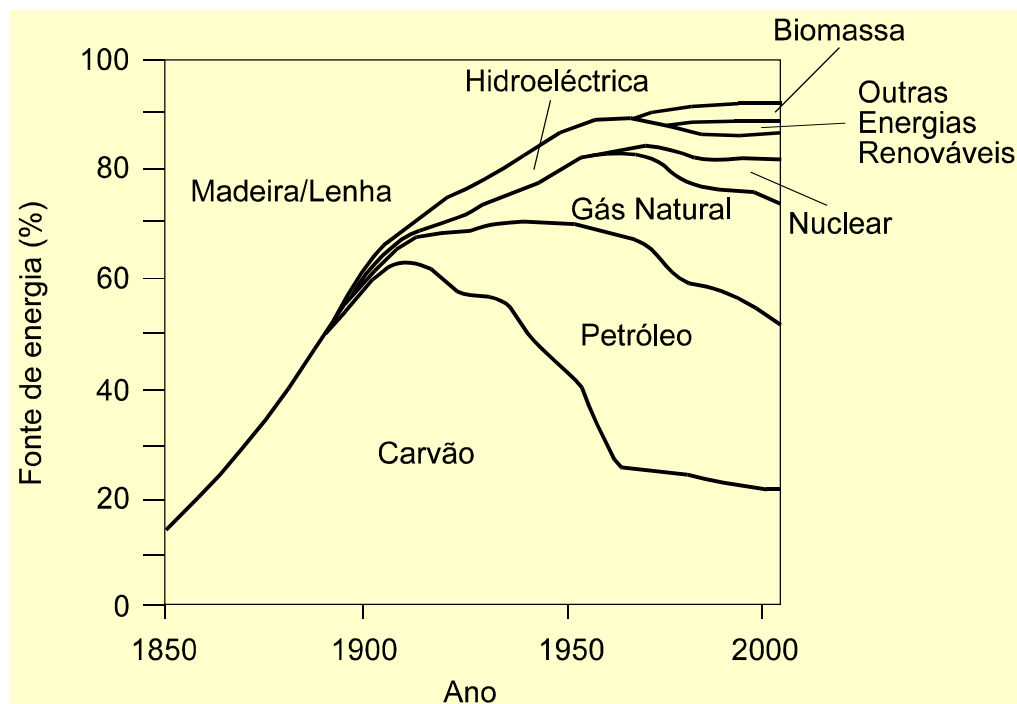
Combustão e energia

Nos países não pertencentes à OCDE prevê-se que o consumo em 2030 seja mais de duas vezes superior ao actual, enquanto nos países da OCDE o crescimento não será tão acentuado.



Consumo de energia por região. (Dados da EIA, 2006.)

Combustão e energia



Contribuição das diferentes fontes de energia primária para o consumo energético a nível mundial desde 1850. (Extraído de “Global Energy Perspectives”, World Energy Council & International Institute for Applied Systems Analysis (1998). Disponível em .)

NOTAS:

Até meados do século XIX, a madeira era o principal combustível utilizado pelo homem.

O desenvolvimento do automóvel, e posteriormente do avião, conduziu, ao longo do século XX, a um aumento progressivo na contribuição do petróleo, em detrimento da madeira.

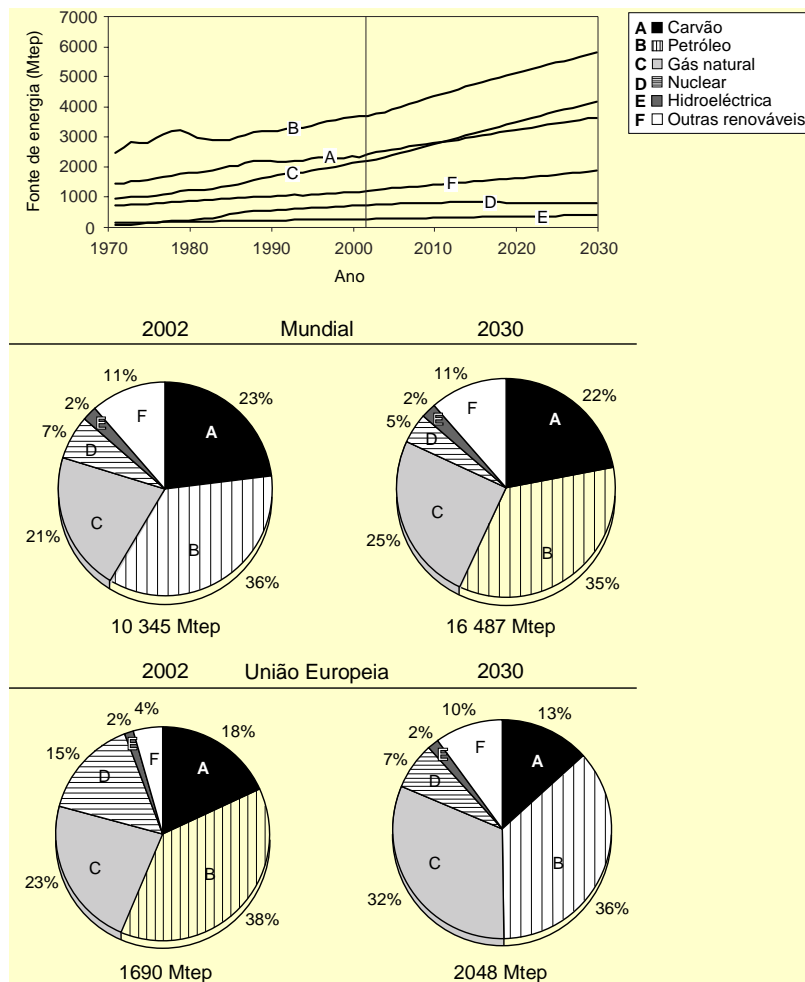
A contribuição do carvão, embora crescente em termos absolutos, diminuiu em termos percentuais a partir de 1920.

A utilização do gás natural só começou a ser relevante em meados do século XX.

A energia hidroelétrica, cuja contribuição é visível a partir de 1910, e a energia nuclear, importante a partir de 1970, mantiveram um papel secundário comparativamente à dos combustíveis fósseis.

A contribuição de outras energias renováveis (eólica, solar, biocombustíveis, geotérmica, ondas e marés) só muito recentemente se torna visível.

Combustão e energia



NOTAS:

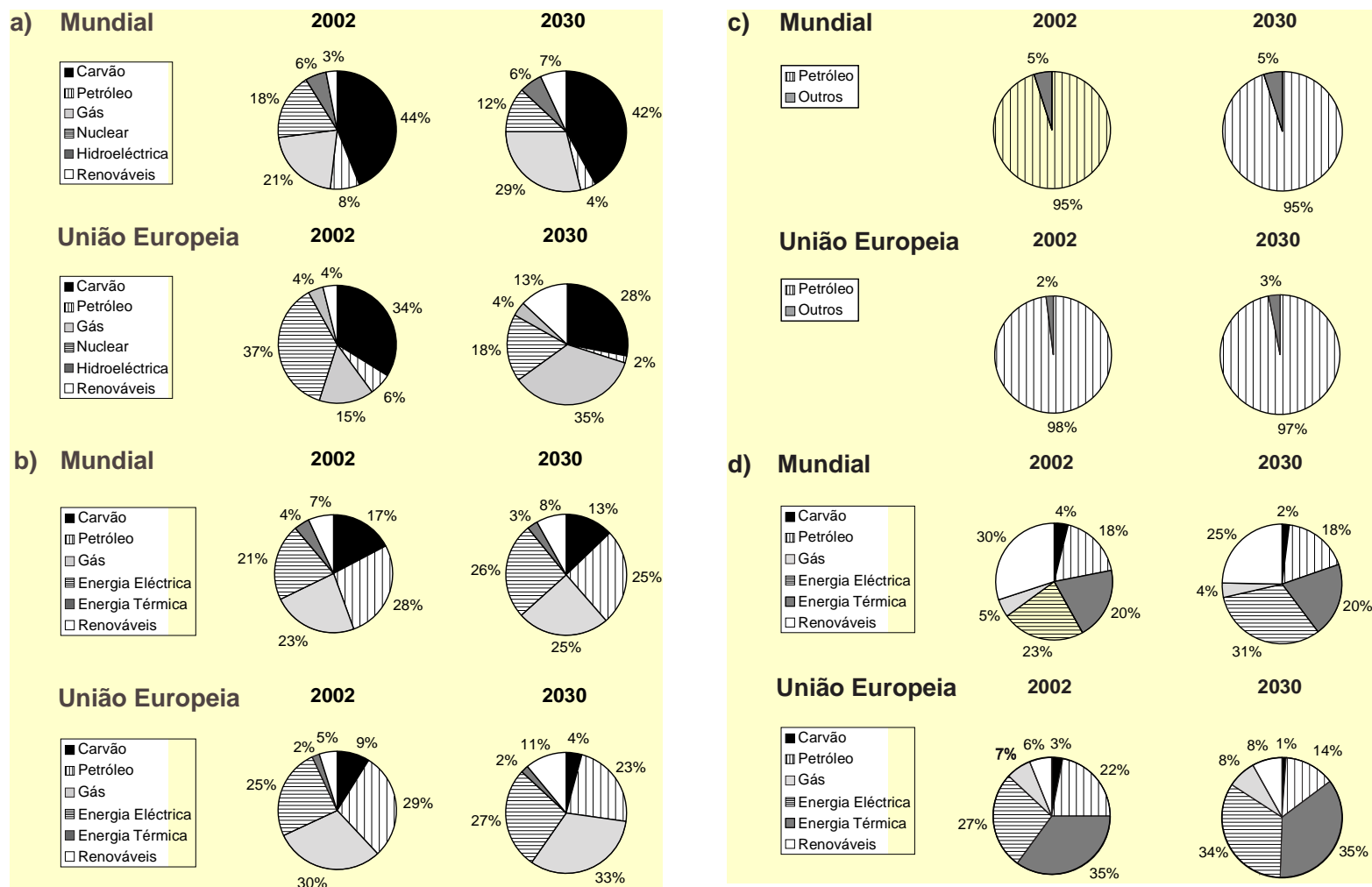
O petróleo continuará a ser o principal combustível neste horizonte temporal, mas o gás natural registará a maior taxa de crescimento, tornando-se o segundo combustível mais consumido em detrimento do carvão por volta de 2010.

A energia nuclear irá crescer até 2010, mas diminuirá a partir daí, de tal modo que a variação prevista entre 2000 e 2030 é muito diminuta.

Tanto a energia hidroelétrica como as energias renováveis terão um acréscimo, que será particularmente significativo em termos relativos, mas não em termos absolutos, para as energias renováveis.

Contribuição das diferentes fontes de energia primária para o consumo energético a nível mundial e na União Europeia – estatísticas de 2002 e projecção até 2030. (Dados da IEA, 2004.)

Combustão e energia



Contribuição das diferentes fontes de energia para o sector de produção de energia eléctrica e térmica e para o consumo energético, a nível mundial e na União Europeia, por sector de actividade – estatísticas de 2002 e projecção para 2030. a) Sector de produção de energia eléctrica e térmica; b) Indústria; c) Transportes; d) Outros sectores de actividade. (Dados da IEA, 2004.)

Combustão e energia

Principais conclusões da figura anterior

Verifica-se que o carvão é o principal combustível utilizado na produção de energia, e embora a sua contribuição venha a aumentar em valor absoluto, terá um peso menor em termos relativos em 2030.

Pelo contrário, o gás natural terá um aumento muito significativo.

O petróleo e a energia nuclear terão uma variação diminuta em termos absolutos e uma queda acentuada em termos relativos.

As energias renováveis aumentarão de forma significativa, mas a percentagem global prevista para 2030 é apenas de 6% para a energia hidroelétrica e de 7% para as outras energias renováveis.

No sector industrial, que inclui o fabrico de materiais, a construção civil e a indústria mineira, não se prevêem variações muito significativas nas contribuições percentuais das diversas fontes de energia, mantendo-se o petróleo, o gás e a electricidade como dominantes, com um aumento relativo do gás e da electricidade à custa do carvão e do petróleo.

No sector dos transportes não se prevê evolução digna de registo, enquanto noutros sectores de actividade (agricultura, edifícios, comércio e serviços públicos) haverá um aumento acentuado no consumo de electricidade, acompanhado por um decréscimo em todos os combustíveis fósseis.

Comparando a evolução prevista a nível mundial com a da União Europeia, nota-se que na União Europeia o peso do gás e das energias renováveis é maior do que a nível mundial, para a generalidade dos sectores de actividade.

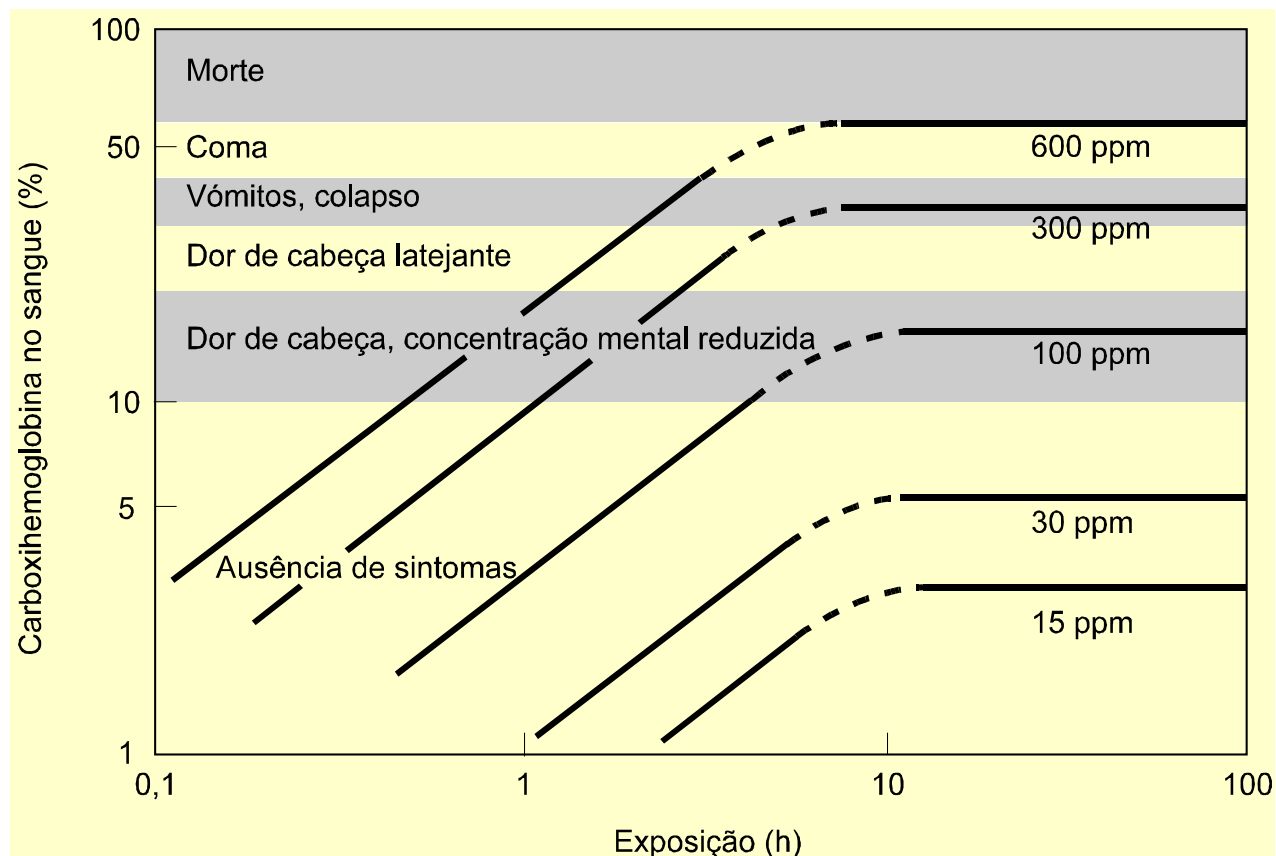
Combustão e ambiente

A diminuição da contribuição relativa do carvão e do petróleo no consumo energético mundial deve-se, por um lado, à consciencialização de que as reservas destes combustíveis são limitadas e, por outro lado, a serem os combustíveis fósseis os principais responsáveis pela emissão de poluentes, resultantes da combustão.

Os principais poluentes resultantes da combustão são o CO, os hidrocarbonetos não queimados, o NO_x (inclui NO e NO₂), o SO₂ e as partículas sólidas.

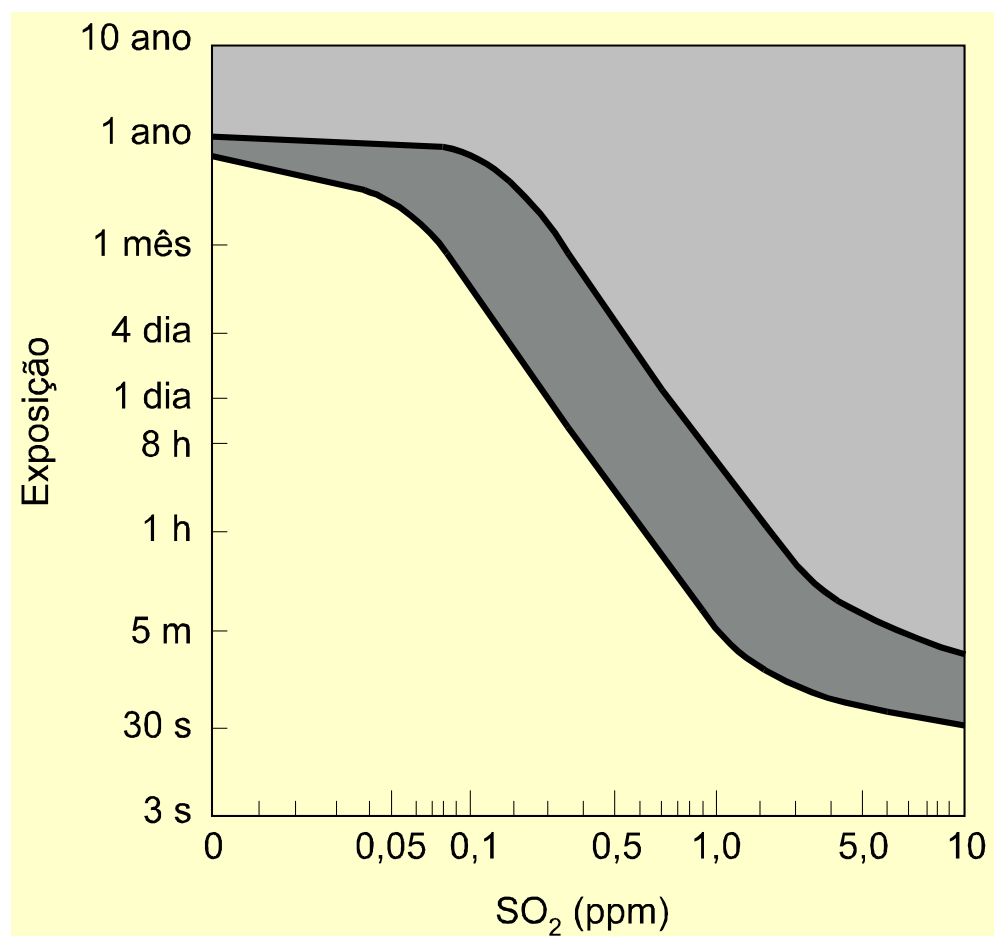
Estes poluentes podem causar problemas de saúde, *smog*, chuva ácida, a destruição da camada de ozono e o efeito de estufa.

Combustão e ambiente



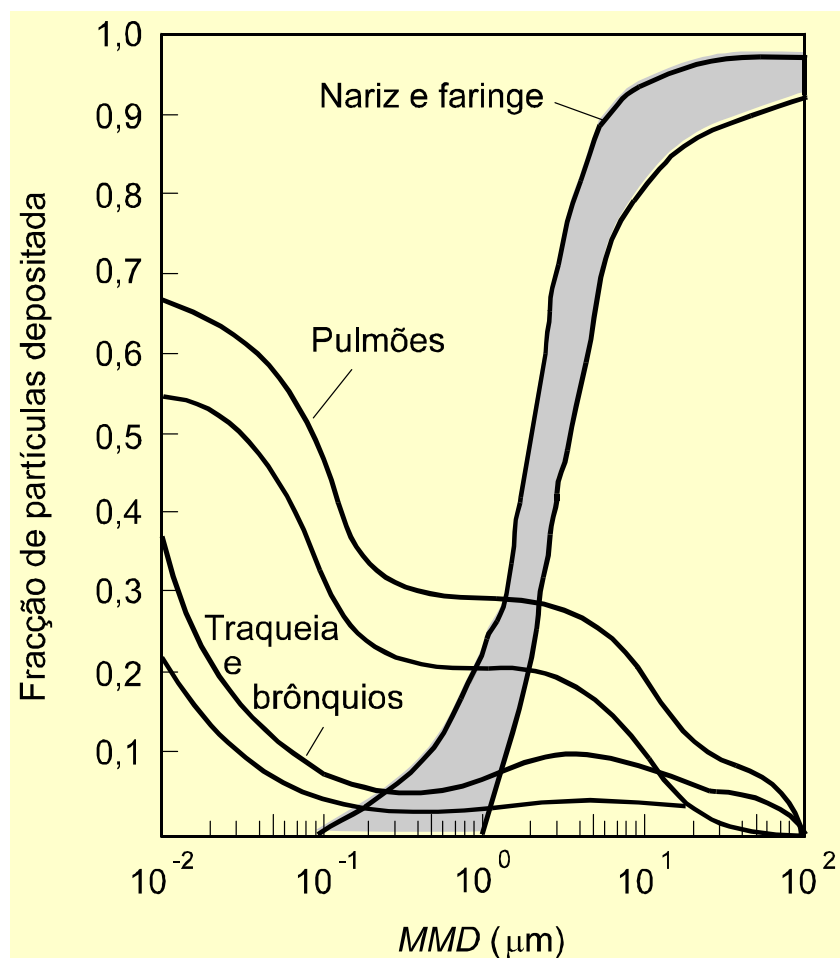
Efeito do CO sobre a saúde humana.

Combustão e ambiente



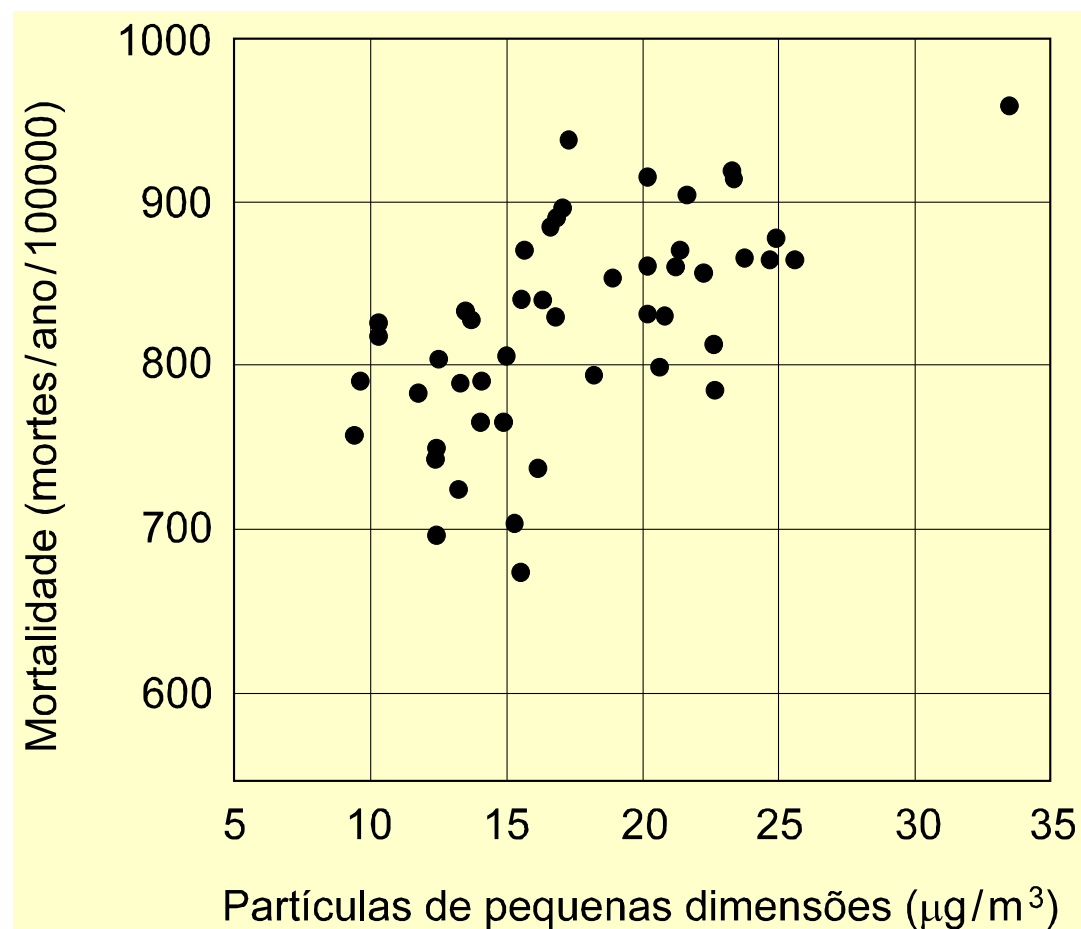
Efeito do SO₂ sobre a saúde humana. A área a cinzento claro representa a faixa de exposição para a qual têm sido registadas mortes e a área a cinzento escuro a faixa de exposição na qual se suspeita que ocorram efeitos sobre a saúde.

Combustão e ambiente



Influência da dimensão das partículas na fracção depositada no sistema respiratório.

Combustão e ambiente



Relação entre a concentração de partículas em suspensão de pequenas dimensões e a mortalidade.

Combustão e ambiente

As emissões dos poluentes gerados em processos de combustão têm diminuído nos últimos anos em muitos países industrializados, devido à introdução de medidas de controlo da poluição, quer a nível de modificações durante o processo de combustão quer após a combustão.

Na União Europeia, dados relativos ao período 1990-1999 revelam uma diminuição de 25% nas emissões de NO_x , 60% nas de SO_2 , 32% nas de CO e 34% nas de partículas sólidas.

As emissões de NO_x devem-se, sobretudo, aos sectores dos transportes, produção de energia eléctrica e indústria, responsáveis por 64%, 16% e 13% das emissões, respectivamente.

Os principais responsáveis pelas emissões de SO_2 em processos de combustão são o sector de produção de energia eléctrica e a indústria, responsáveis por 61% e 24% das emissões.

As emissões de CO são mais elevadas nos transportes, os quais contribuem para 57% dessas emissões.

As emissões de partículas sólidas são maiores nos transportes e no sector de produção de energia (28% e 24%, respectivamente).

Combustão e ambiente

A diminuição nas emissões de NO_x são fundamentalmente conseguidas através da introdução de conversores catalíticos nos veículos automóveis, à mudança de combustíveis para outros com menor teor em azoto no sector de produção de energia e a modificações no processo de combustão.

As emissões de SO_2 resultam da queima de combustíveis com enxofre na sua composição, sendo o decréscimo nas emissões conseguido principalmente à custa do tratamento pós-combustão dos gases de exaustão e à substituição de combustíveis por outros com menor teor em enxofre.

As emissões de CO são devidas à combustão incompleta dos combustíveis e a sua redução deve-se ao melhoramento no controlo da combustão nos veículos automóveis e ao aumento relativo dos veículos com motores Diesel.

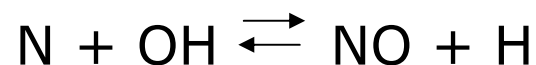
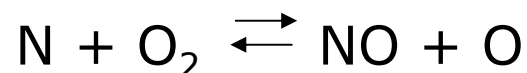
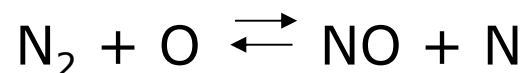
A redução das emissões de partículas sólidas é conseguida à custa de mudanças de combustível, da implementação de medidas específicas na produção de energia eléctrica e na indústria, e ao aumento percentual de veículos automóveis com conversores catalíticos.

Combustão e ambiente

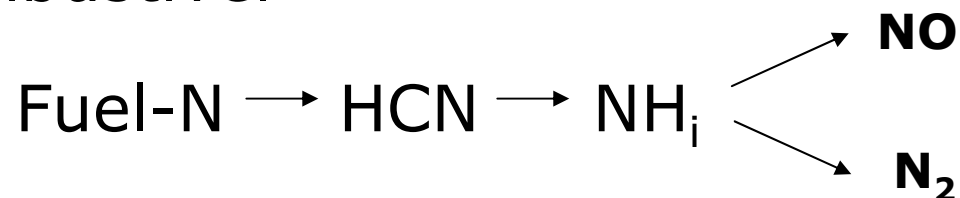
Mecanismos de formação de NO_x

- Imediato (Fenimore)
- Mecanismo intermédio de N_2O

- Térmico (Zeldovich)



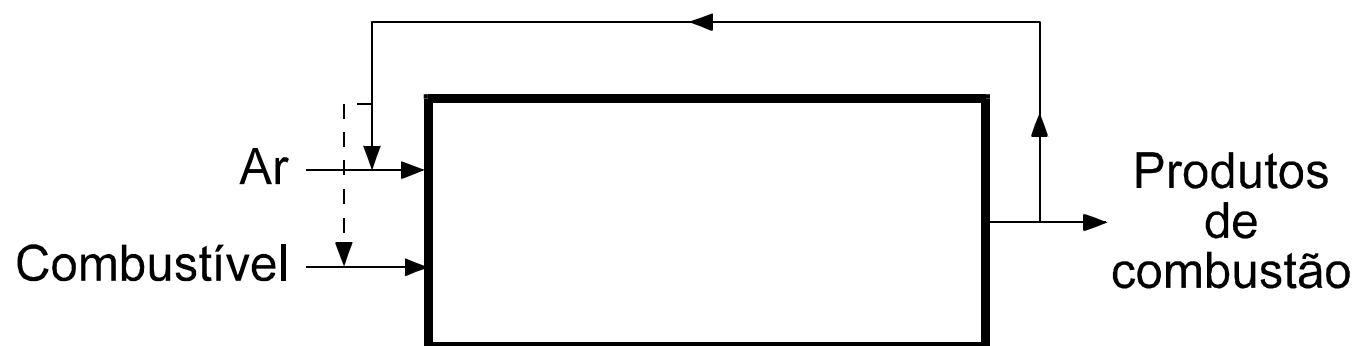
- Combustível



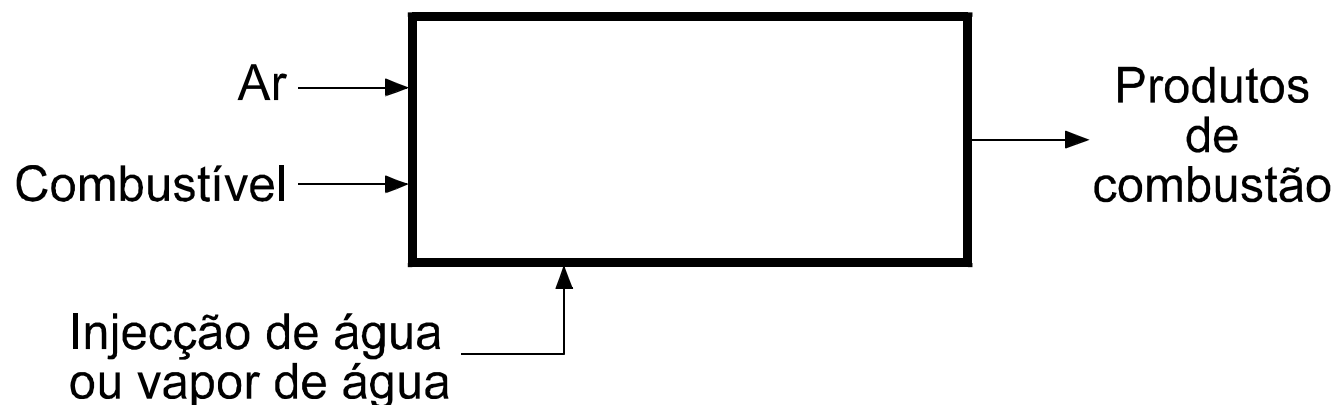
Combustão e ambiente

Métodos de controle das emissões de NO_x : alterações no processo de combustão (soluções preventivas)

Recirculação (externa) dos produtos de combustão



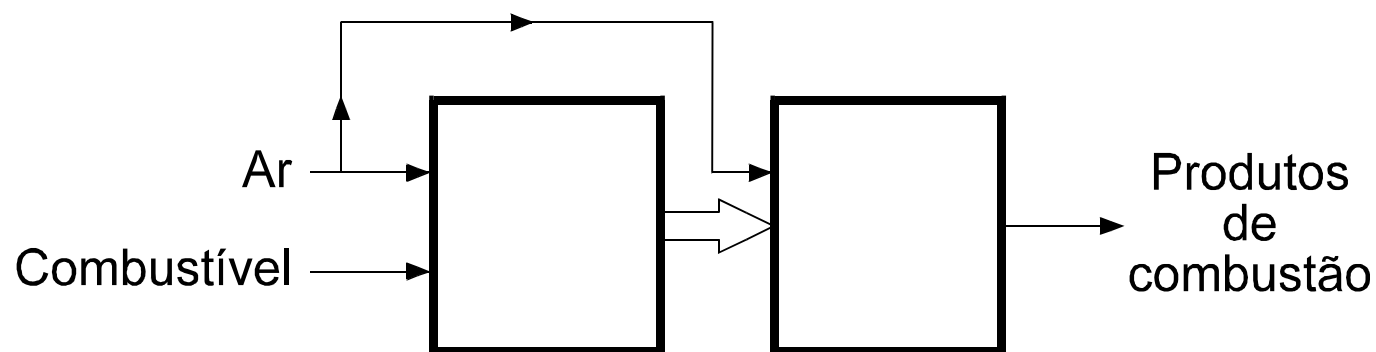
Injecção de água ou vapor de água



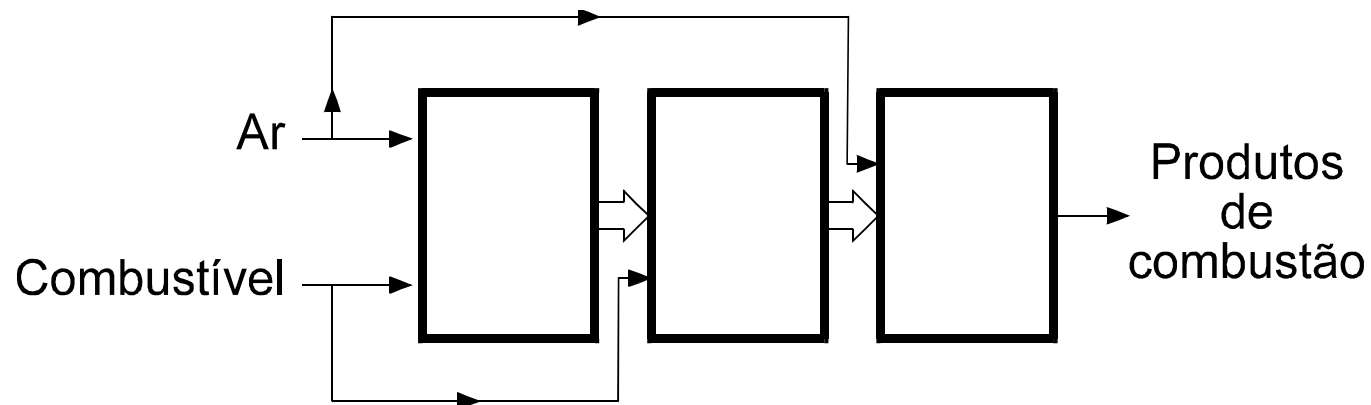
Combustão e ambiente

Métodos de controle das emissões de NO_x : Alterações no processo de combustão (soluções preventivas)

Estagiamento do ar de combustão



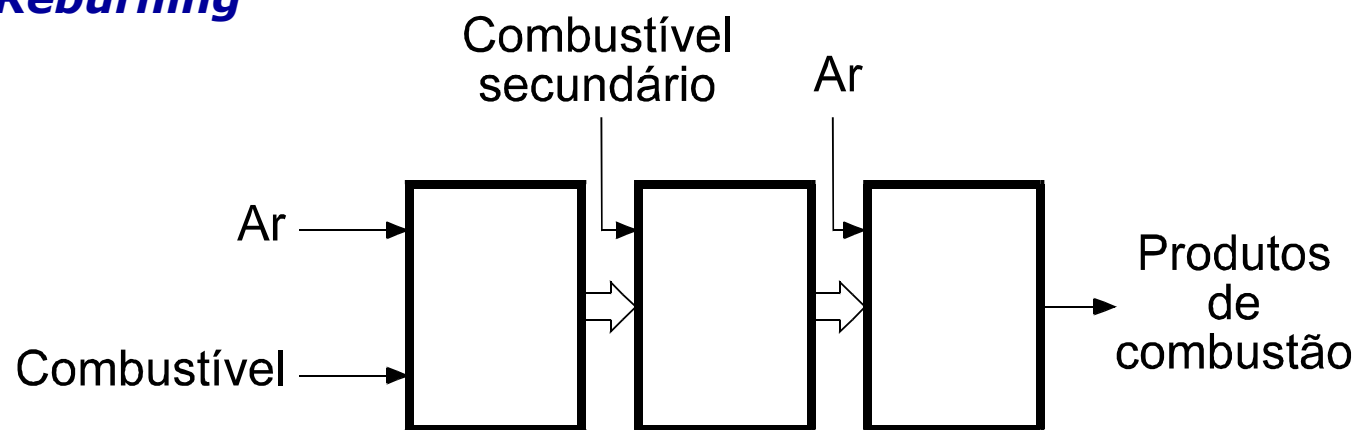
Estagiamento do combustível



Combustão e ambiente

Métodos de controle das emissões de NO_x : Alterações no processo de combustão (soluções preventivas)

Reburning



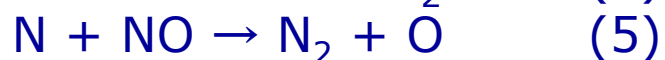
Pré-misturas pobres



Combustão e ambiente



Em condições ricas:



... mas em condições pobres:



As reacções (1) e (6) consomem CH_i competitivamente. No “reburning” o objectivo é maximizar a exposição NO/CH_i e minimizar a interacção CH_i/O_2



Combustão e ambiente

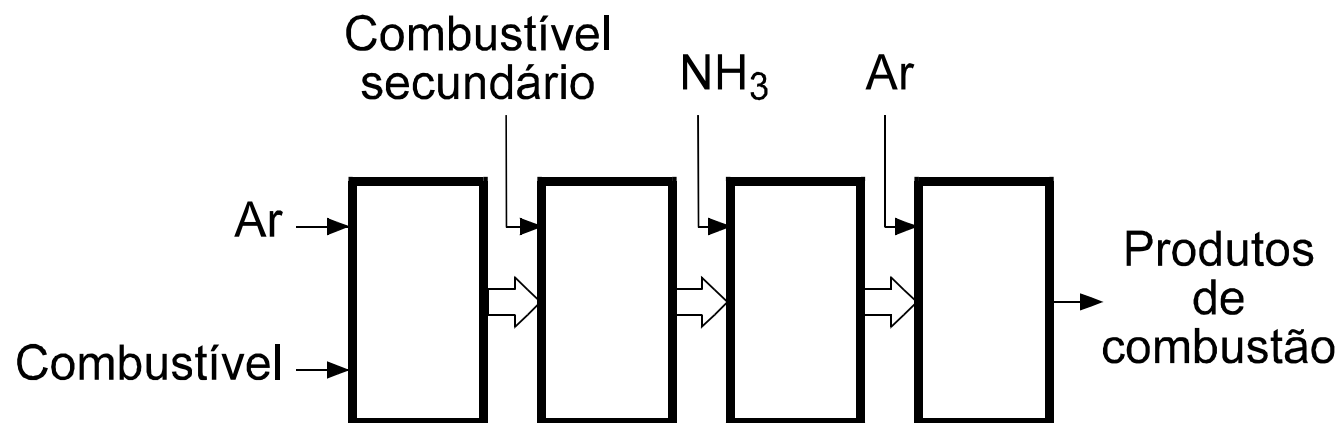
Métodos de controle das emissões de NO_x : Tratamentos pós-combustão (soluções correctivas)

Injecção de amoníaco, carbono activado, ...

Precipitadores electrostáticos, filtros de mangas, ...

Métodos de controle das emissões de NO_x : Alterações no processo + Tratamentos pós-combustão

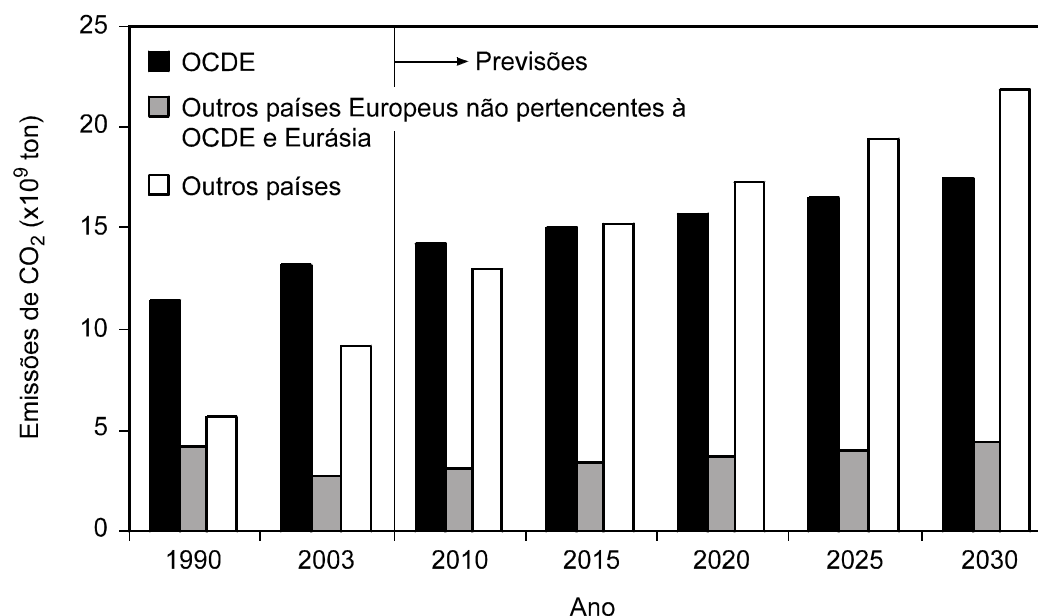
Reburning + Redução não catalítica selectiva



Combustão e ambiente

Mais recentemente, foi reconhecido que o CO_2 , tradicionalmente considerado como não poluente, tem também efeitos nefastos, na medida em que provoca o efeito de estufa que se presume poder conduzir a um aquecimento global da atmosfera.

Contrariamente aos poluentes acima referidos, as emissões de CO_2 resultantes da combustão têm aumentado e prevê-se que essa tendência se mantenha até 2020, com uma taxa de crescimento anual de 1,8% (IEA, 2002). Para esse aumento contribuirão principalmente os países em vias de desenvolvimento.



*Emissões de CO_2 em processos de combustão.
(Dados da EIA, 2006.)*

Combustão e ambiente



Alguns potenciais métodos de fixação de CO₂.

Combustão e ambiente

Fixação de CO₂

Para a armazenagem de CO₂ são requeridos grandes reservatórios – por exemplo, depósitos de sal-gema, minas de carvão, campos de petróleo ou de gás abandonados, aquíferos profundos, ou no fundo do oceano.

Os campos de petróleo ou de gás já explorados tornam-se particularmente atractivos uma vez que a sua geologia é conhecida, assegurando, em princípio, uma armazenagem a longo prazo, com a possibilidade de permitir uma extracção adicional dos recursos explorados.

Uma alternativa à remoção, transporte e armazenagem de CO₂ consiste na libertação deste gás para a atmosfera, aumentando os sorvedouros naturais – tipicamente conseguido com o aumento do crescimento de árvores. Neste caso as opções globais são:

Redução da desflorestação,
Florestação de zonas que não tenham sido previamente florestadas,
Reflorestação de áreas que já tenham sido florestadas.

A florestação, incluindo a reflorestação de zonas ardidas, permite criar sumidouros de CO₂, para além de gerar recursos endógenos para um conjunto diversificado de actividades económicas.

Biomassa

Como já se discutiu, os combustíveis podem ser classificados em gasosos, líquidos e sólidos.

Um aspecto comum a combustíveis fósseis e combustíveis de origem biológica (i.e., biomassa) é que todos foram, na sua origem, matéria viva.

Uma importante diferença entre eles é a escala de tempo ...

... enquanto os combustíveis fósseis resultaram de plantas ou animais que viveram há centenas de milhões de anos, a biomassa resulta de matéria que estava viva há poucos anos, ou mesmo dias.

Assim, ao contrário dos combustíveis fósseis, a biomassa é renovável.

Biomassa

Os principais combustíveis fósseis são o gás natural, os derivados do petróleo bruto (por exemplo, gasolinas, gasóleos, querosenes e fuel-óleos) e o carvão.

O termo biomassa cobre uma extensa categoria de materiais, incluindo:

- madeira,
- desperdícios vegetais, tais como a palha e a casca de arroz,
- resíduos de origem animal, tais como esgotos domésticos e estrume,
- resíduos industriais,
- resíduos sólidos urbanos.

É previsível que a biomassa, a partir da qual se obtém actualmente cerca de um sétimo da energia mundial, venha a ter cada vez maior importância no contexto energético mundial, quer por via da sua transformação em biocombustíveis líquidos ou gasosos quer por via da sua queima directa.

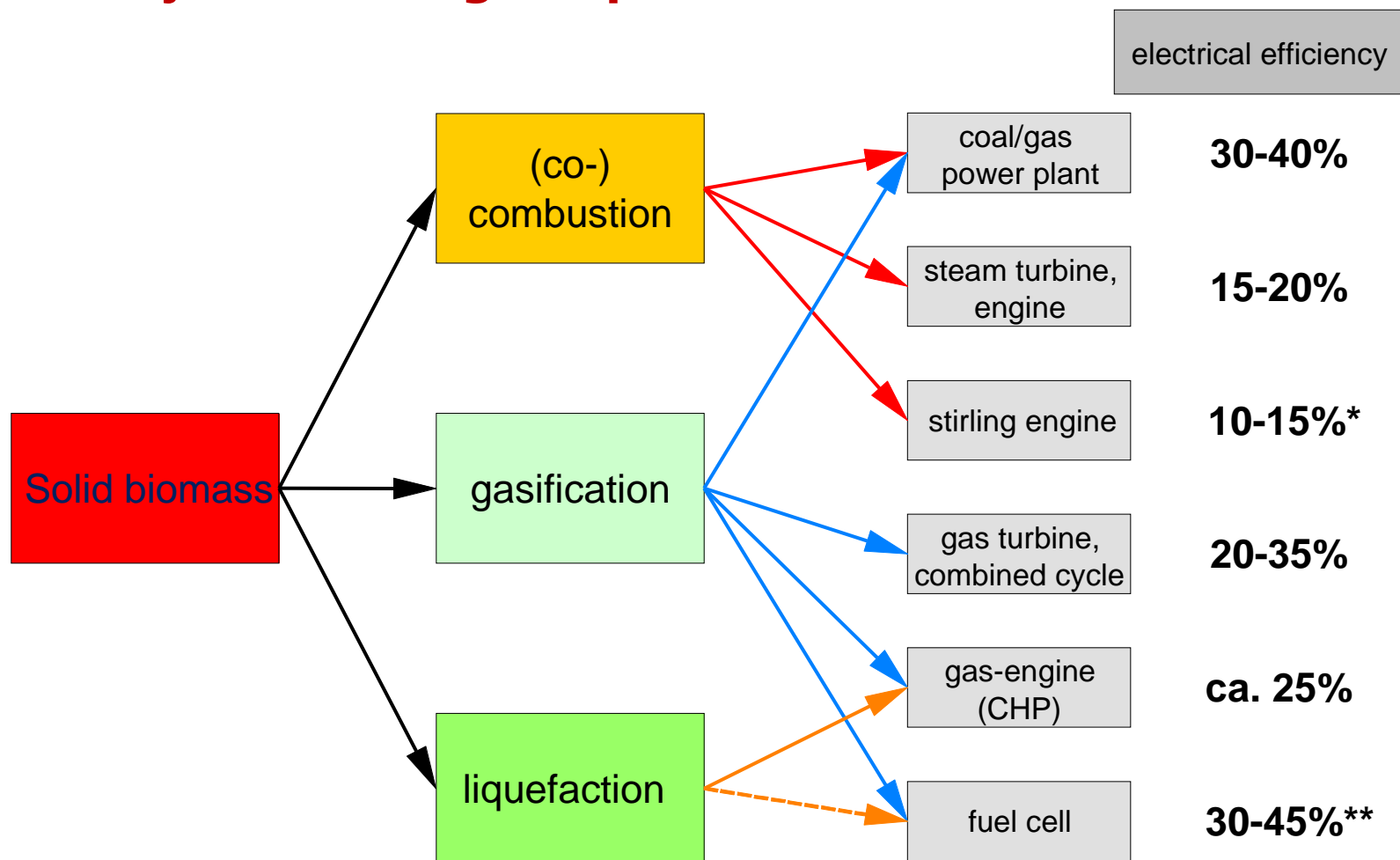
Biomassa

Tecnologias de conversão da biomassa

Conversion Technique	Temperature (°C)	Pressure	Main Products
Combustion	800 – 1400	atm. – high	heat
Pyrolysis	400 – 800	atm. – high	char, liquids, gas
Gasification	650 – 1100	atm. – high	CO, H ₂ , CH ₄
Hydrothermal Upgrading	250 – 600	very high	liquids, char, gas
Aerobic Fermentation	<< 100	atm.	Ethanol
Anaerobic Fermentation	< 100	atm.	CH ₄

Biomassa

Produção de energia a partir da biomassa



* lower output range than steam turbine

** dependent on fuel cell type

Biomassa

Os combustíveis gasosos podem ser produzidos a partir da madeira e outros tipos de biomassa através, por exemplo, da gaseificação.

Biogás

O gás natural sintético, ou biogás, também conhecido por biometano, pode ser produzido a partir de uma grande variedade de matéria orgânica, nomeadamente resíduos animais e vegetais, resíduos industriais e resíduos sólidos urbanos.

Muitos países empenhados, existindo já numerosas unidades, por todo o mundo, produzindo gás por processos de pirólise, gaseificação termoquímica e fermentação anaeróbica.

A gaseificação termoquímica só pode ser usada com biomassas que apresentem valores de humidade inferiores a 50%.

Biomassa

Produção de biogás

Ao contrário da gaseificação, a fermentação anaeróbica é um processo microbiológico que exige um alto teor de humidade.

A fermentação anaeróbica (ou metânica) pode definir-se como a decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigénio onde, devido à acção de bactérias específicas, se sucedem degradações em cadeia conducentes à produção do biogás.

A matéria orgânica é colocada num digestor fechado, aparelho que possibilita a sua fermentação anaeróbica, conservada a uma temperatura de cerca de 30-40 °C, de preferência pelo próprio calor gerado, fermentando num período de algumas semanas.

O processo nunca é totalmente anaeróbico e, como tal, entre 20% a 40% (em volume) do gás produzido é CO₂.

Apesar disso é um combustível cuja utilização é interessante do ponto de vista energético e, além disso, os resíduos sólidos que restam do processo constituem um fertilizante para a agricultura melhor do que o resíduo original.

Biomassa

Composição do biogás

Componente	Composições em % volúmica
CH_4	55-80
CO_2	20-40
H_2	1-3
N_2	0.5-2.5
O_2	0.1-1
H_2S	0.1-0.5
NH_3	0.1-0.5
CO	0-0.1

Biomassa

Propriedades de vários combustíveis gasosos

Parâmetro	GN	Gases Manufacturados				
	Argélia	Gás de cidade	Gás de carvão	Gás de refinaria	Biogás	
CH ₄ (% vol.)	87	25.0	27.1	4.4	68.0	
C ₂ H ₆ (% vol.)	9	–	–	72.5	–	
C ₃ H ₈ (% vol.)	2.7	–	–	–	–	
C ₄ H ₈ (% vol.)	–	–	3.0	–	–	
C ₄ H ₁₀ (% vol.)	1.1	3.0	–	15.0	–	
H ₂ (% vol.)	–	53.6	48.0	6.1	2.0	
CO (% vol.)	–	9.0	7.4	1.2	–	
CO ₂ (% vol.)	–	3.0	2.4	–	24.0	
N ₂ (% vol.)	0.2	6.0	11.3	0.6	6.0	
PCI a 100 kPa e 298 K						
	MJ/kg	48.85	36.85	33.13	46.72	24.68
	MJ/Nm ³	39.92	20.95	19.86	70.02	25.22
PCS a 100 kPa e 298 K						
	MJ/kg	54.01	41.00	36.92	50.89	27.30
	MJ/Nm ³	44.14	23.31	22.13	76.27	27.89

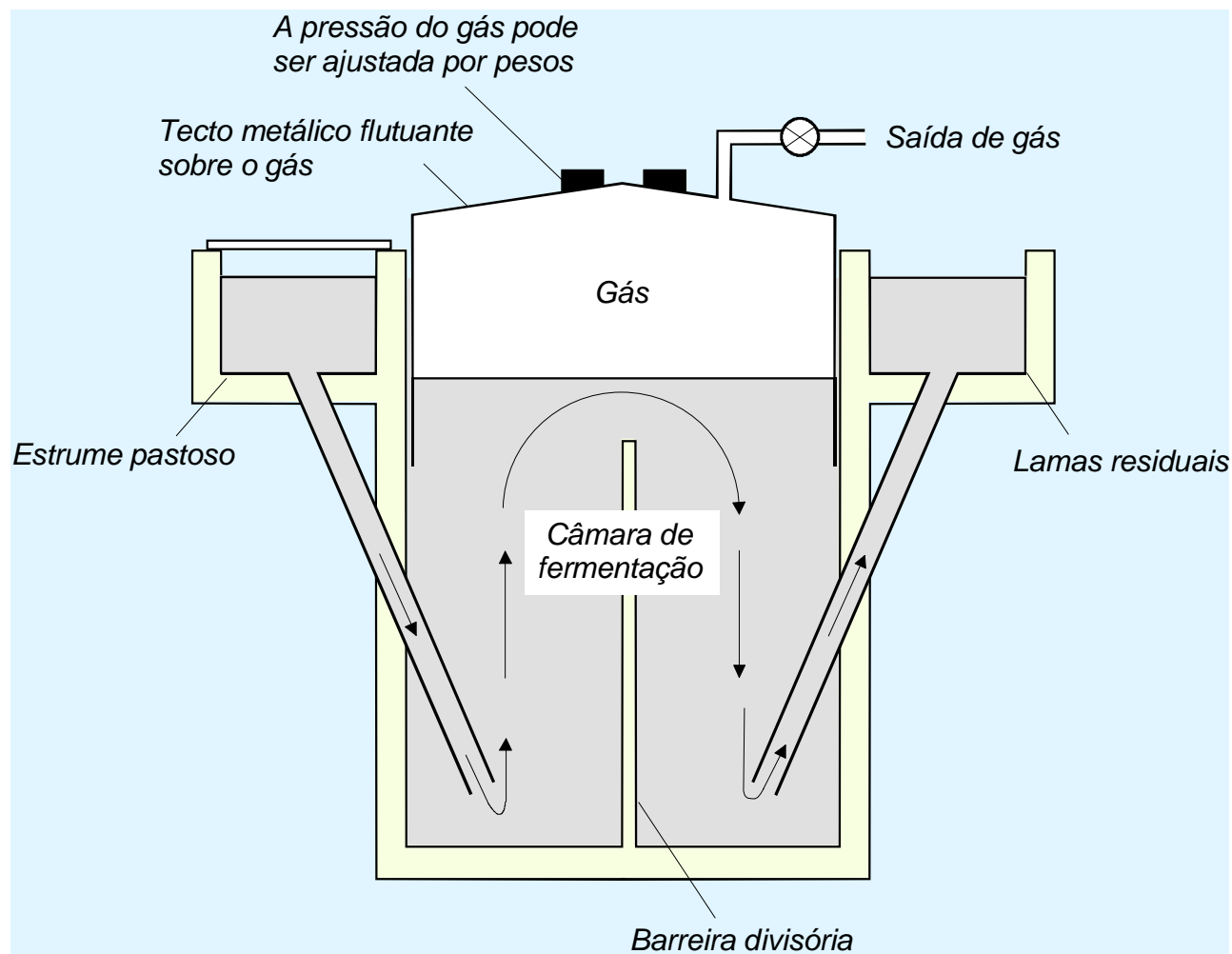
Biomassa

Relação de equivalência entre 1 m³ de biogás e outros combustíveis

1 m ³ de biogás	1.5 m ³ de gás de cidade
	0.3 m ³ de propano
	7 kWh
	0.8 litro de gasolina
	1.3 litro de álcool
	0.7 litro de gasóleo

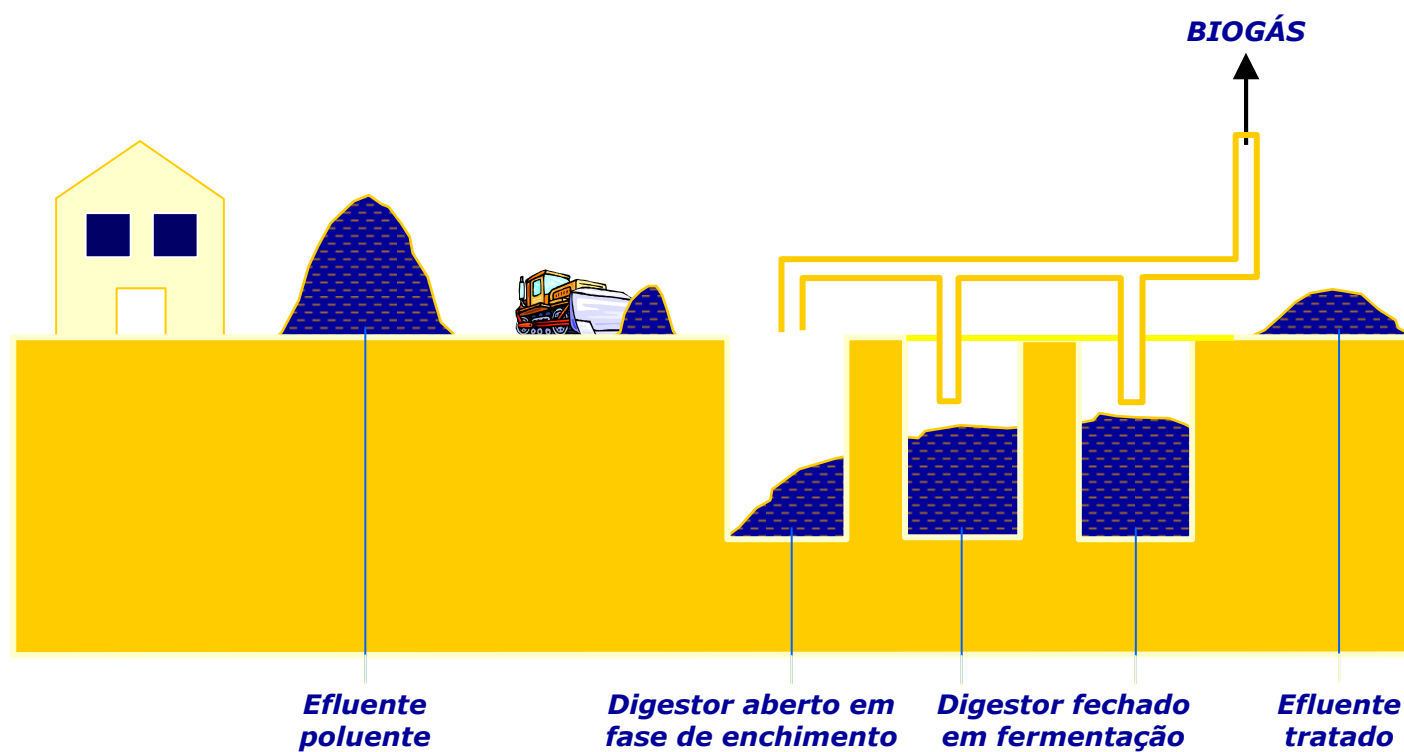
Biomassa

Digestor de biogás



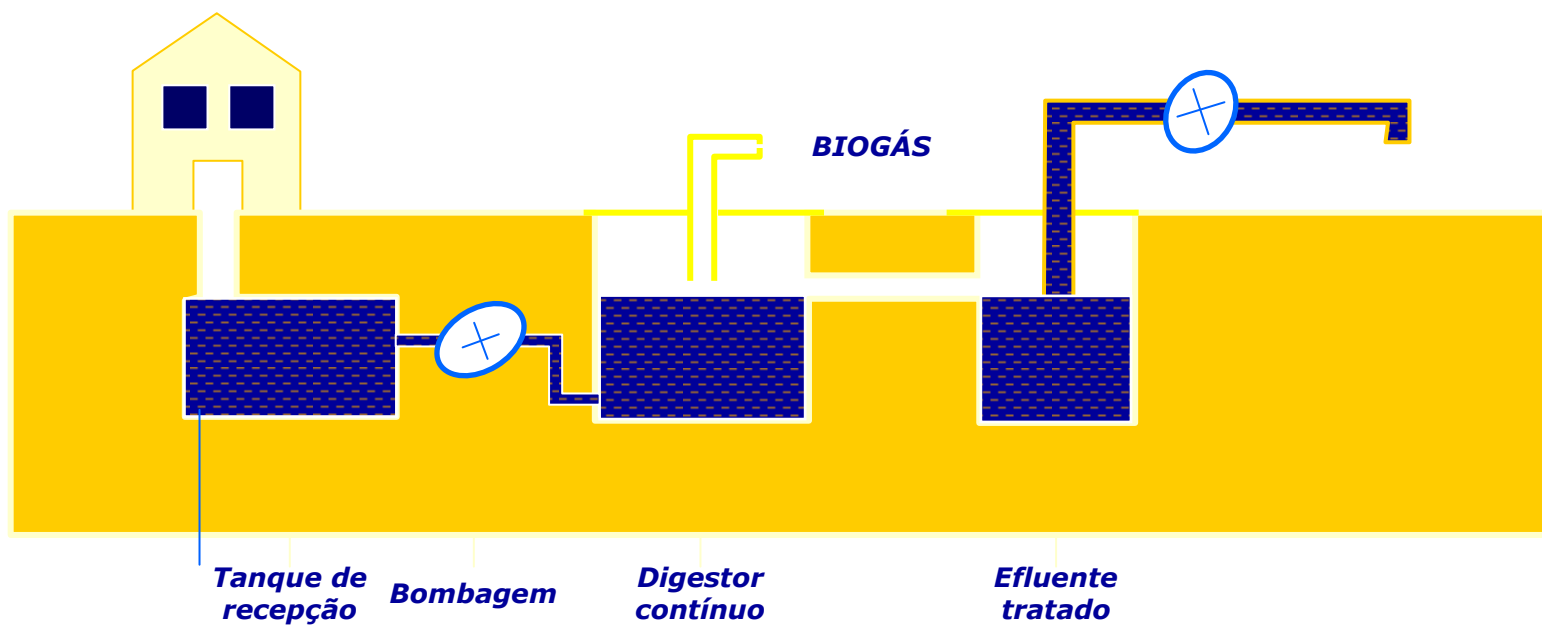
Biomassa

Sistema descontínuo de digestão anaeróbica



Biomassa

Sistema contínuo de digestão anaeróbia



Biomassa

Etapas do processo da digestão anaeróbia 1ª etapa – Fase hidrolítica

Grandes moléculas orgânicas

- hidratos de carbono
- proteínas
- lípidos



Moléculas de menor peso molecular

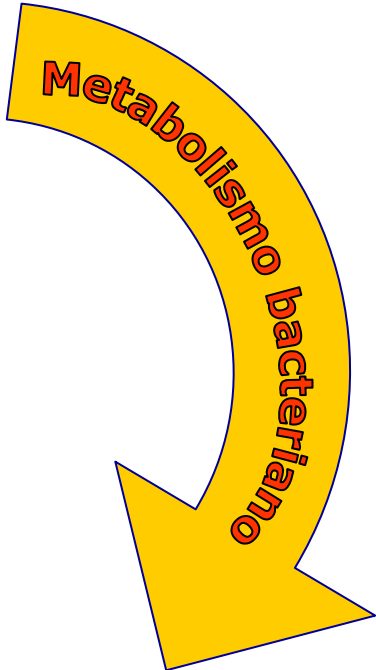
- açúcares
- aminoácidos e glicerol
- ácidos gordos

Biomassa

Etapas do processo da digestão anaeróbia 2ª etapa – Fase acidogénea

Produtos provenientes da 1ª etapa

- formam a dieta alimentar de uma série de estirpes bacterianas anaeróbias



Metabolismo bacteriano

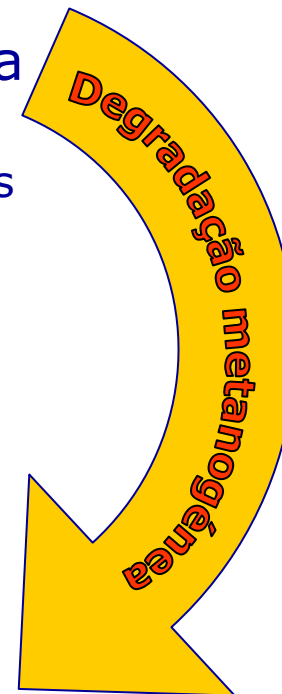
Produção de compostos de baixo peso molecular e gases com teores de CO , H_2 , H_2S reduzidos – responsáveis pelo poder corrosivo e odor do biogás

Biomassa

Etapas do processo da digestão anaeróbia 3ª etapa – Fase metanogénica

Produtos provenientes da 2ª etapa

- as bactérias metanogénicas entram em actividade, degradando os ácidos voláteis produzidos nas fases anteriores



Biogás

- libertação da mistura gasosa com características de gás combustível

Biomassa

Parâmetros que influenciam o processo de digestão

Anaerobiose:

A ausência de oxigénio é uma condição não necessária para o normal funcionamento das duas primeiras etapas do processo da digestão anaeróbia...

... mas na fase metanogénea, o metabolismo das bactérias metanogéneas é inibido quando em presença de oxigénio atmosférico.

pH:

O intervalo mais favorável ao metabolismo das bactérias metanogéneas situa-se entre 6.8 a 7.5.

Temperatura:

O intervalo de temperatura (4 a 70 °C) relativamente largo no qual o processo de fermentação anaeróbia se pode desenvolver abrange a actividade de três estirpes de bactérias metanogéneas, caracterizadas por comportamentos bastante diferenciados quanto à capacidade de degradação da matéria orgânica, produção de biogás, estabilidade, etc...

Biomassa

Relação entre valores de tempo de retenção e temperatura de fermentação

Temperatura (°C)	Tempo Mínimo (dias)	Tempo Óptimo (dias)
20	11	28
25	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Biomassa

Produções de biogás/animal.dia e relações de equivalência entre diferentes tipos de animal

Animal	Produção (m ³ /animal.dia)	No.
Vacas Leiteiras	1.3	1
Bezerros	0.85	1.5
Suínos	0.135	9.6
Homens	0.02	65
Galinhas	0.009	145

Peso médio por animal:

590 kg (vacas leiteiras)

360 kg (bezerros)

50 kg (suínos)

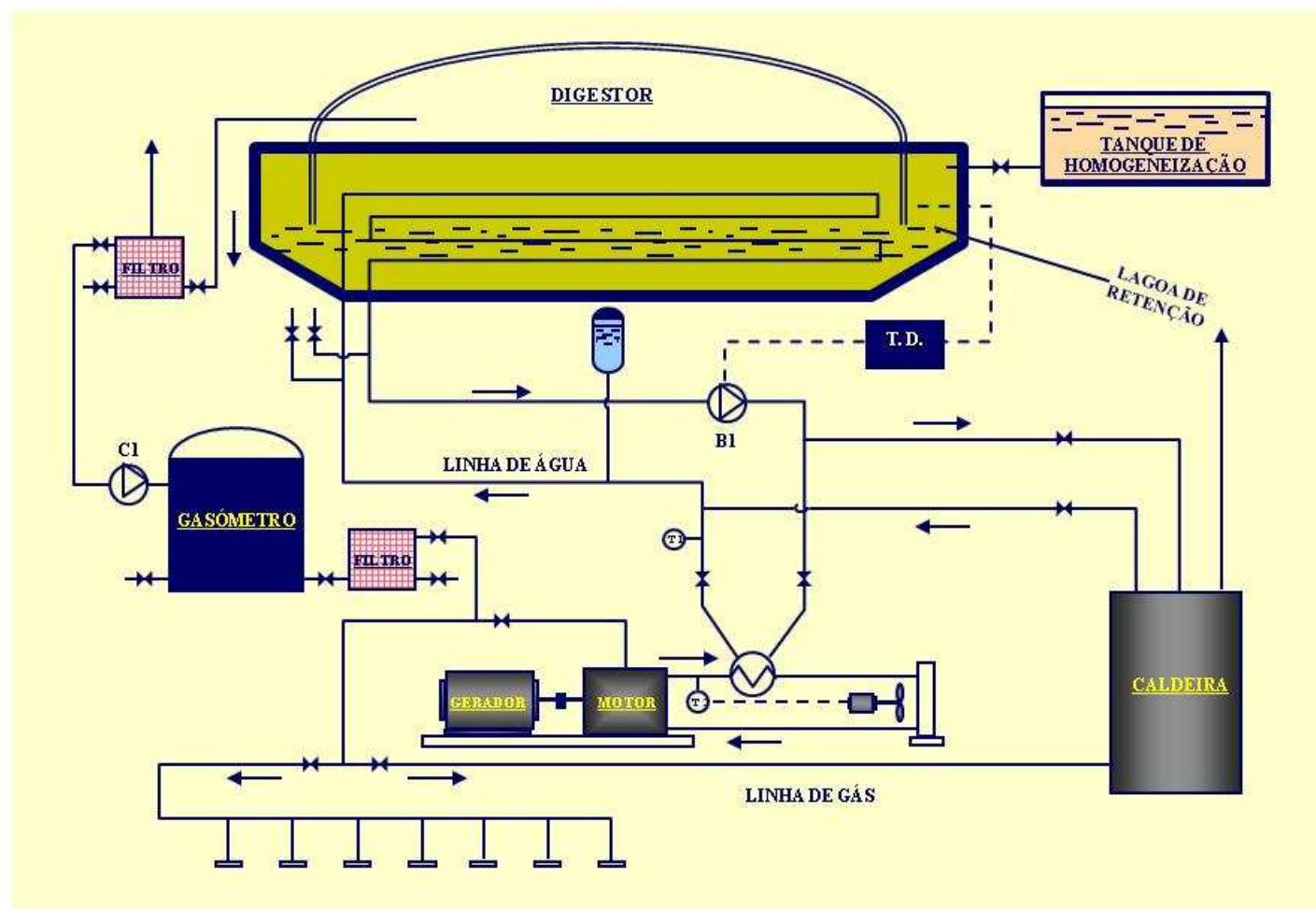
1.9 kg (galinhas)

Produção específica de biogás:

1 kg de sólidos voláteis \approx 0.5 m³ de biogás

Biomassa

Sistema típico de cogeração com biogás



Biomassa

Biogás: custos de produção (2004)

Investimento para uma unidade com capacidade para tratamento de 20 000 ton/ano:

- cerca de 4 600 000 €

Custos operacionais

- cerca de 38 €/ton (sem amortizações)
- cerca de 53 €/ton (incluindo amortizações e impostos)

Biomassa

Biogás: benefícios energéticos

A maior parte dos sistemas de biogás produzem a energia necessária à normal actividade das explorações agro-pecuárias onde se encontram, sendo frequente produções de biogás superiores às necessidades.

Quando se opta pela utilização do biogás em grupos de cogeração, parte da energia térmica e eléctrica produzida destina-se a ser usada no processo, existindo contudo um excedente que pode, e deve, ser valorizado. A receita associada a esta valorização pode ser bastante significativa – 10 a 40% do valor total das receitas.

Uma outra valorização energética possível, prende-se com a utilização agrícola do efluente depurado como fertilizante orgânico (mais-valia do efluente).

Biomassa

Biogás: benefícios ambientais

O tratamento de efluentes de natureza orgânica pode ser feito através de diversos processos, sendo os mais comuns os sistemas de lagoas e os sistemas convencionais de lamas activadas.

No âmbito da agro-pecuária, a aplicação da lagunagem é uma solução de baixo custo frequentemente praticada, apresentando, no entanto, a desvantagem de ser muito exigente em termos de espaço (tempos de retenção superiores a 100 - 120 dias). A aplicação de arejamento nestas lagoas, para reduzir os tempos de retenção, implica importantes investimentos em equipamento e a elevados consumos de energia eléctrica.

Os biodigestores, ao degradar cerca de 60 a 90% da matéria, permitem uma redução significativa dos tempos de retenção e facilitam a realização dos trabalhos de limpeza das lagoas.

A principal razão que preside à instalação de um sistema de biogás prende-se com interesses de ordem ambiental, sendo o aproveitamento do biogás uma valorização adicional que incentiva a aplicação desta tecnologia para a despoluição de efluentes orgânicos concentrados.

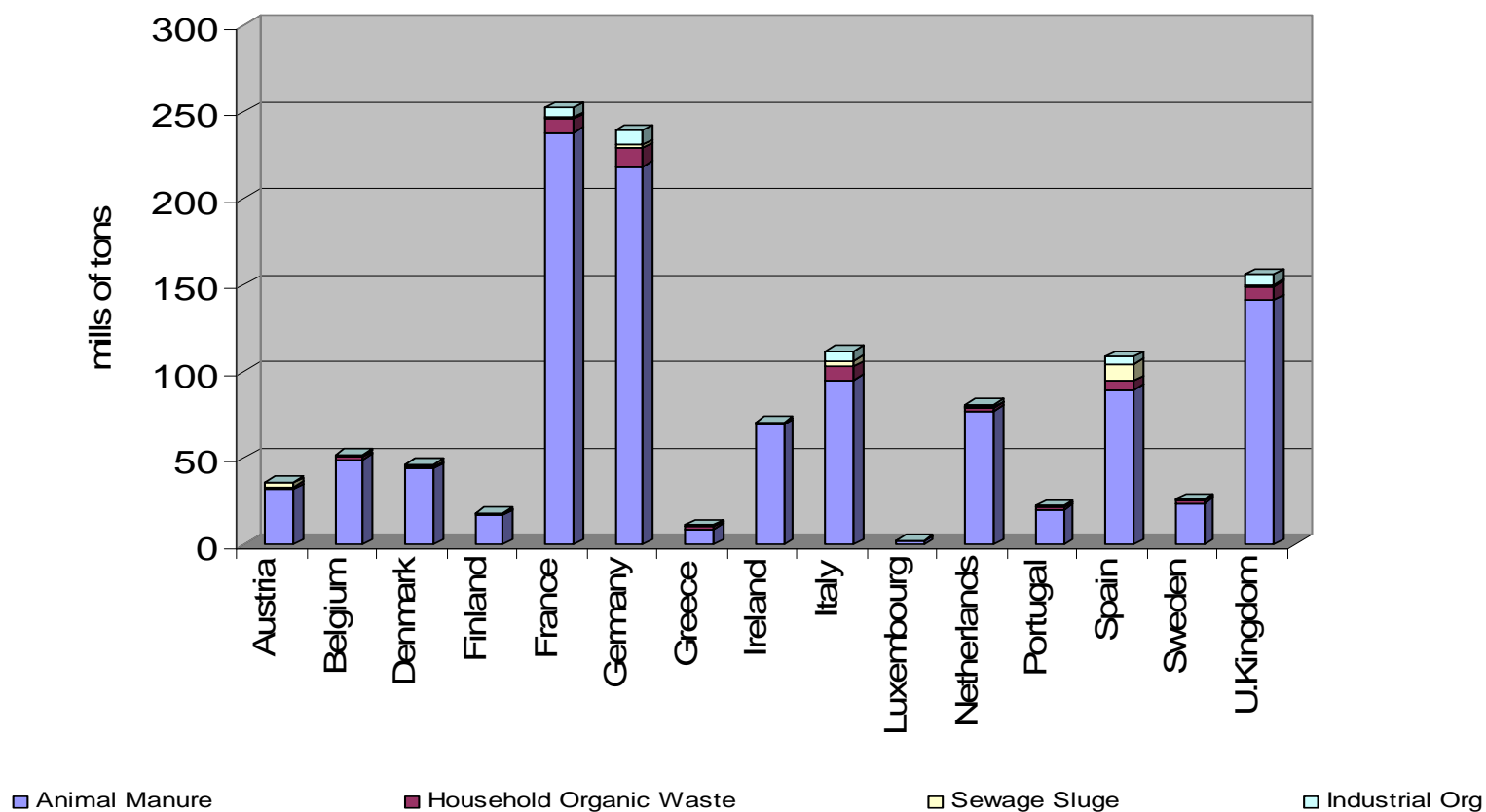
Biomassa

Sistemas a biogás em Portugal por sector de actividade

Sector de Actividade	Sistemas Instalados
Suíños	71
Cavalos	8
Bovinos	5
Indústria Alimentar (Leite)	3
Distilarias	1
ETAR	12

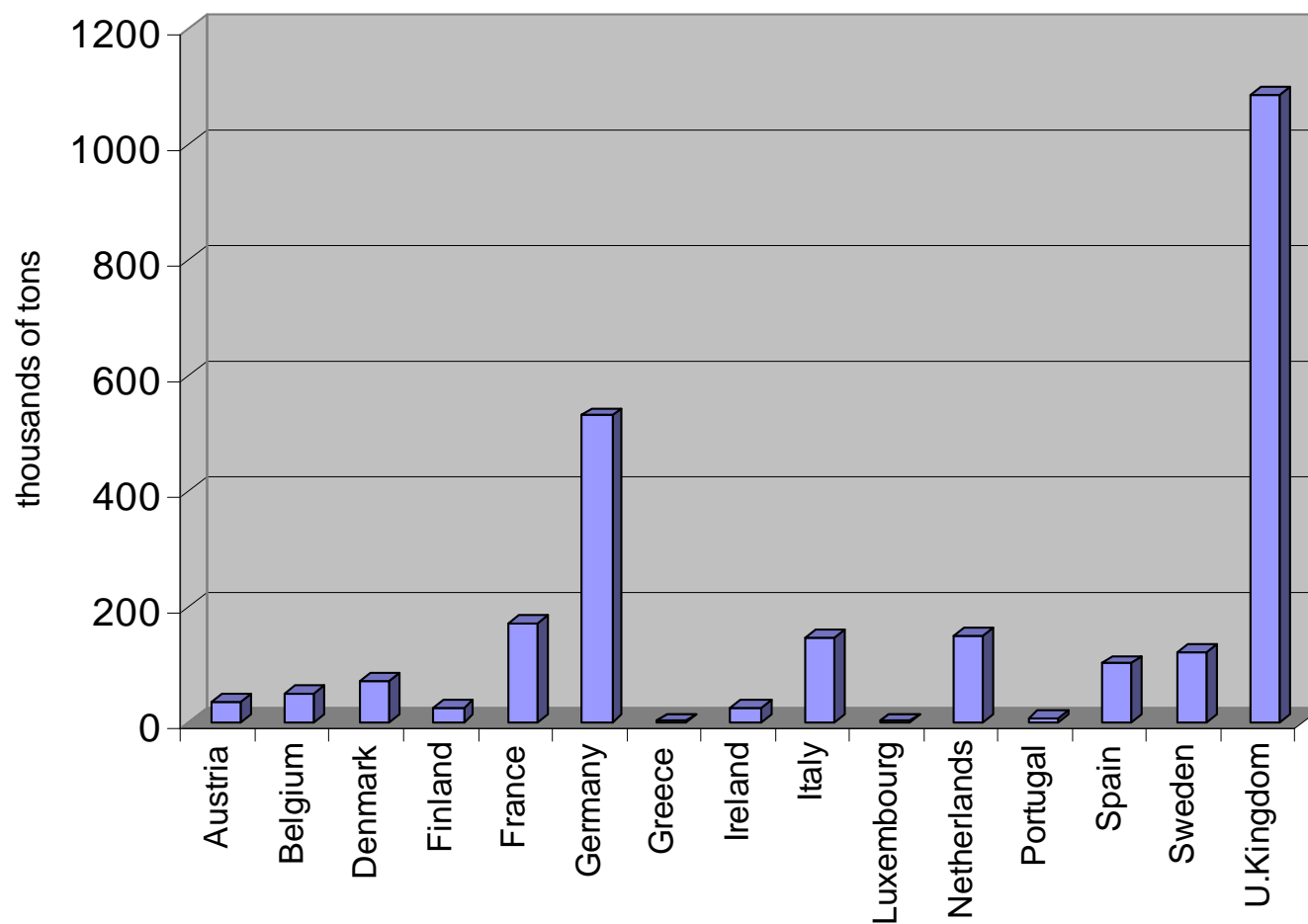
Biomassa

Biomassa disponível em 2003 para produção de biogás em 15 países da CE



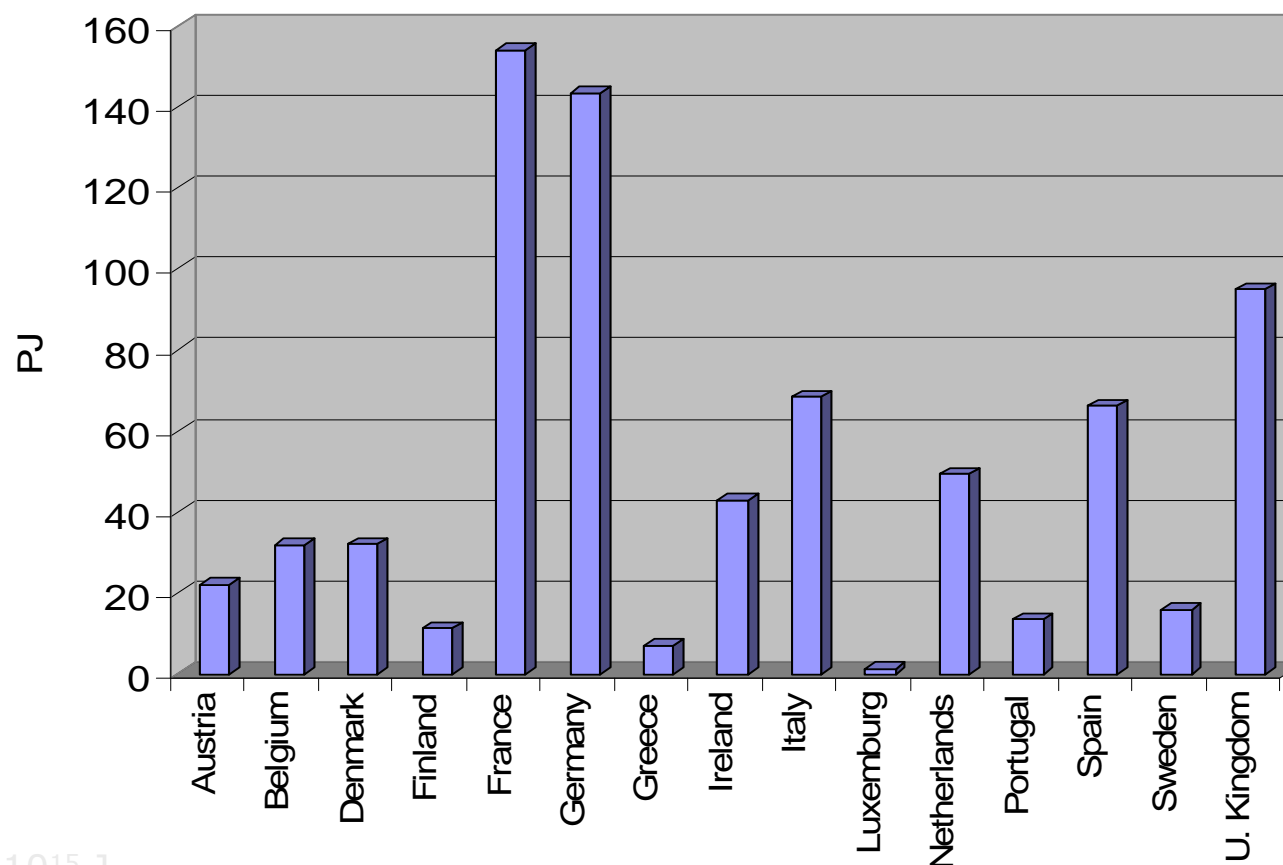
Biomassa

Produção de biogás em 2001 em 15 países da CE



Biomassa

Estimativa do potencial de produção de energia usando biogás para 2020 em 15 países da CE



PJ (Peta Joule) = 10^{15} J

Biomassa

Nos últimos anos, têm sido inúmeros os esforços no sentido de desenvolver combustíveis líquidos alternativos a partir de recursos renováveis (biocombustíveis) de forma a prolongar as reservas finitas de petróleo no mundo.

Assim, óleos de origem animal (por exemplo, sebo de bovinos e gordura de baleias) e óleos vegetais derivados de sementes de girassol, soja e sementes de algodão têm sido usados como combustíveis.

No passado, no entanto, o uso destes materiais foi limitado a aplicações específicas, como, por exemplo, óleo para iluminação.

A fotossíntese realizada pelas plantas produz hidratos de carbono, isto é, compostos com carbono, hidrogénio e oxigénio na sua composição, como, por exemplo, açúcar, amido e celulose. Estes materiais podem ser convertidos em álcoois.

Uma vez que os combustíveis derivados da biomassa são hidrocarbonetos oxigenados (álcoois), apresentam poderes caloríficos menores, teores de humidade maiores e teores de enxofre, cinzas e azoto menores do que os combustíveis líquidos derivados do petróleo bruto.

Biomassa

Propriedades de combustíveis líquidos para veículos motorizados

Parâmetro	Tipo de combustível			
	Gasolina	Gasóleo	Metanol	Etanol
Densidade a 16 °C	0.72-0.78	0.85	0.796	0.794
Viscosidade cinemática a 20 °C (m ² /s)	0.8x10 ⁻⁶	2.5x10 ⁻⁶	0.75x10 ⁻⁶	151x10 ⁻⁶
Gama de temperaturas de ebulição (°C)	30-225	210-235	65	78
Temperatura de inflamação (°C)	-43	52	11	13
Temperatura de auto-ignição (°C)	370	254	464	423
Índice de octano	82-92	–	89	90
Índice de cetano	< 15	37-56	< 15	< 15
$(m_{ar}/m_{fu})_{esteq, massa}$	14.7	14.7	6.45	9.0
Calor latente de vaporização (kJ/kg)	380	375	1185	920
PCI (MJ/kg)	43.5	45	20.1	27

Biomassa

Etanol

O etanol (ou álcool etílico) é o mais comum dos álcoois e caracteriza-se por ser um composto orgânico obtido através da fermentação de substâncias amiláceas ou açucaradas, como a sacarose existente na cana-de-açúcar ou nos resíduos que restam depois da extracção do açúcar.

O etanol é utilizado como combustível desde o aparecimento dos automóveis. Desde então até aos dias de hoje, o uso do etanol em veículos motorizados tem tido consideráveis avanços.

Como combustível para automóveis, o álcool tem a vantagem de ser uma fonte de energia renovável e menos poluidora que os derivados do petróleo. O álcool é também menos inflamável e menos tóxico que a gasolina e o gasóleo.

Biomassa

Etanol

A nível mundial, o exemplo mais conhecido da obtenção de etanol a partir dos recursos renováveis sólidos acima referidos é, provavelmente, o caso brasileiro. O etanol assim obtido pode ser utilizado directamente em motores de automóveis devidamente adaptados ou na forma de uma mistura com gasolina num motor de automóvel convencional.

A produção de etanol é realizada através da fermentação alcoólica de açúcares simples, tais como a frutose, a glucose e a sacarose, promovida essencialmente por leveduras mas também por bactérias.

Se a matéria prima não for constituída por açúcares simples, mas por polímeros de hidratos de carbono, terá de ser efectuada a hidrólise dos polímeros, numa primeira fase, seguida da fermentação alcoólica dos açúcares obtidos na etapa hidrolítica.

Biomassa

Etanol

As matérias primas mais fáceis de fermentar são a cana de açúcar ou a beterraba porque são constituídas por sacarose e, por isso, directamente fermentáveis, sem necessidade de pré-tratamentos.

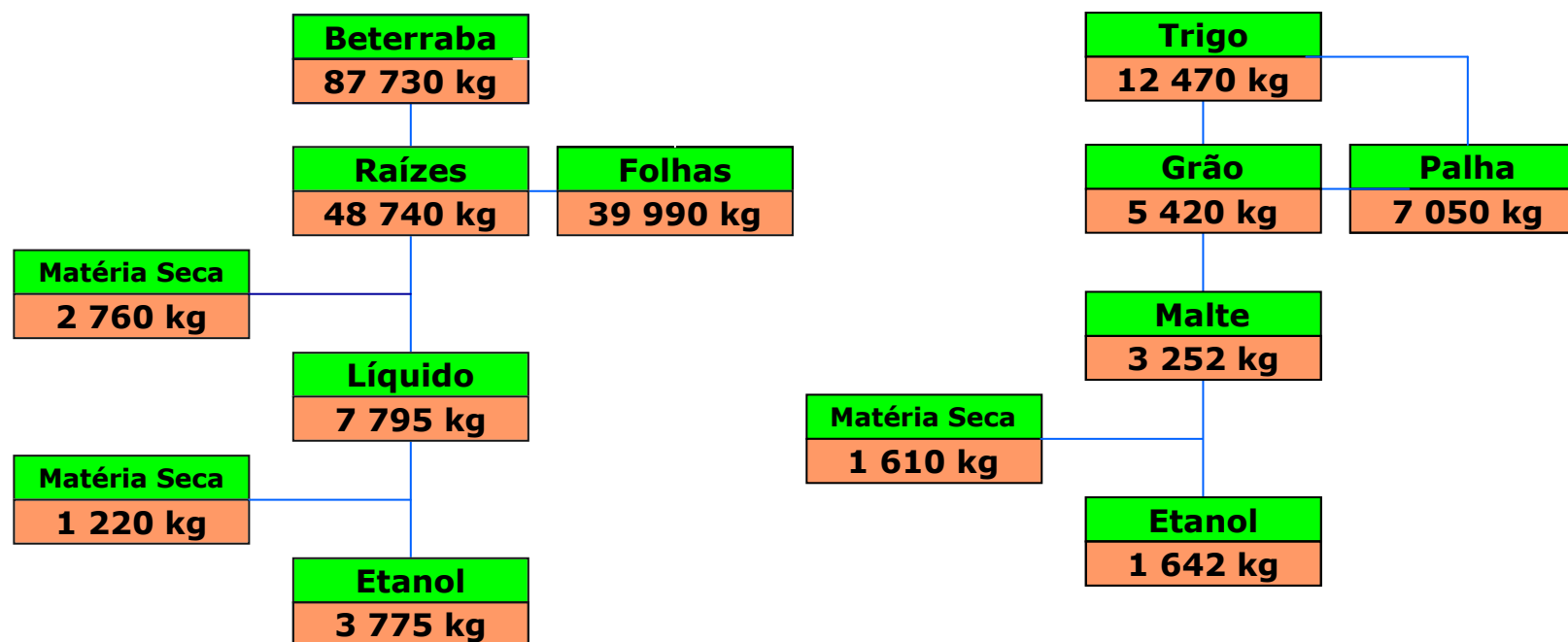
No Brasil a cana de açúcar é a principal matéria prima utilizada; em França é a beterraba; nos EUA e na maioria dos países europeus o bioetanol é essencialmente produzido a partir de cereais, principalmente milho.

Os grãos de cereais são constituídos por amido que tem de ser hidrolisado por ácidos ou enzimas a açúcares do tipo da glucose, antes de ser fermentado.

Outra matéria prima com um enorme potencial para a produção de etanol é a celulose que se pode obter directamente de resíduos agrícolas e florestais (tem menor custo mas fermentação mais difícil comparativamente às outras matérias primas).

Biomassa

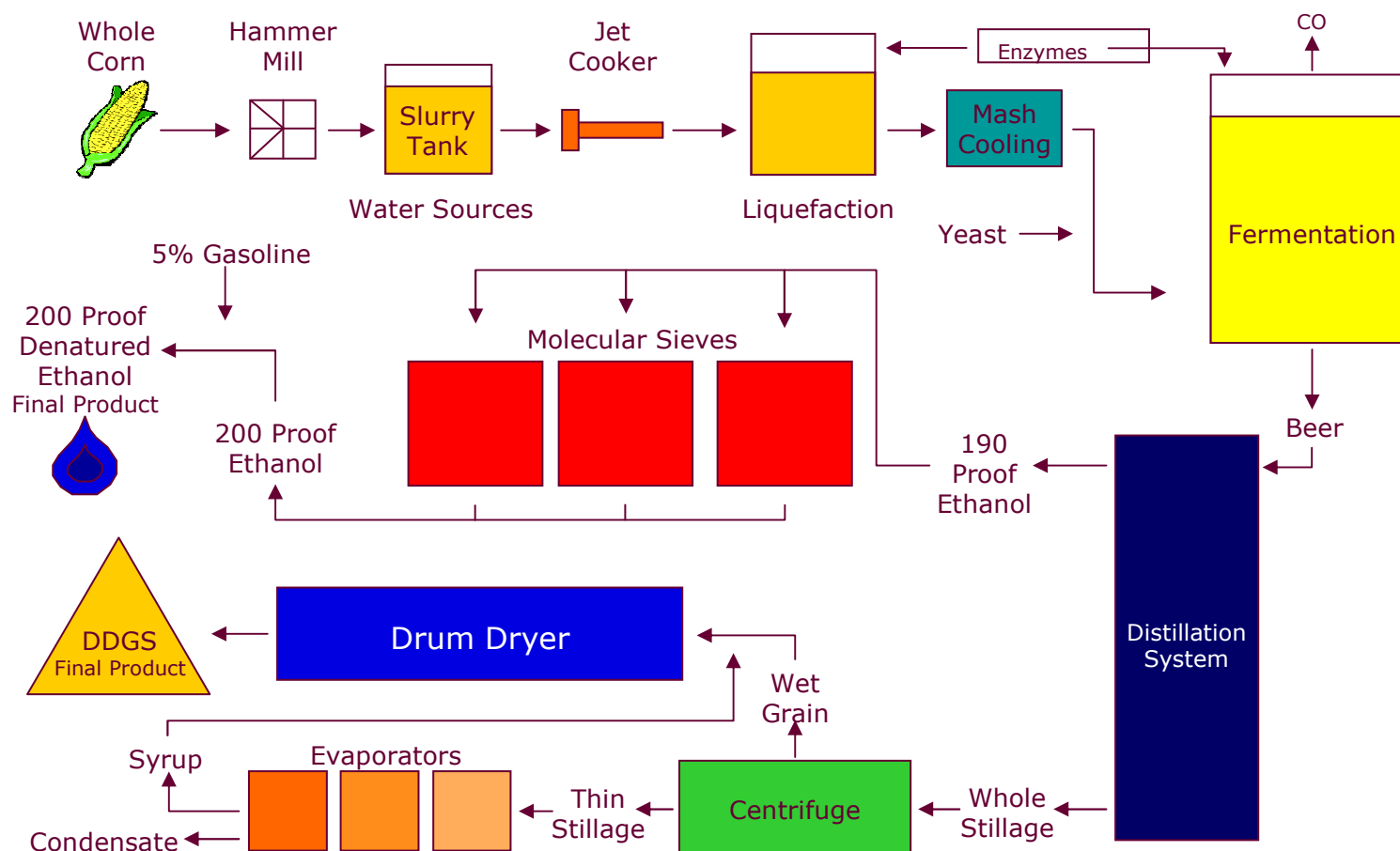
Balanços mássicos associados à produção de etanol a partir de beterraba e trigo



(Fonte: CE, 1994)

Biomassa

Fermentação alcoólica: produção de etanol a partir de milho



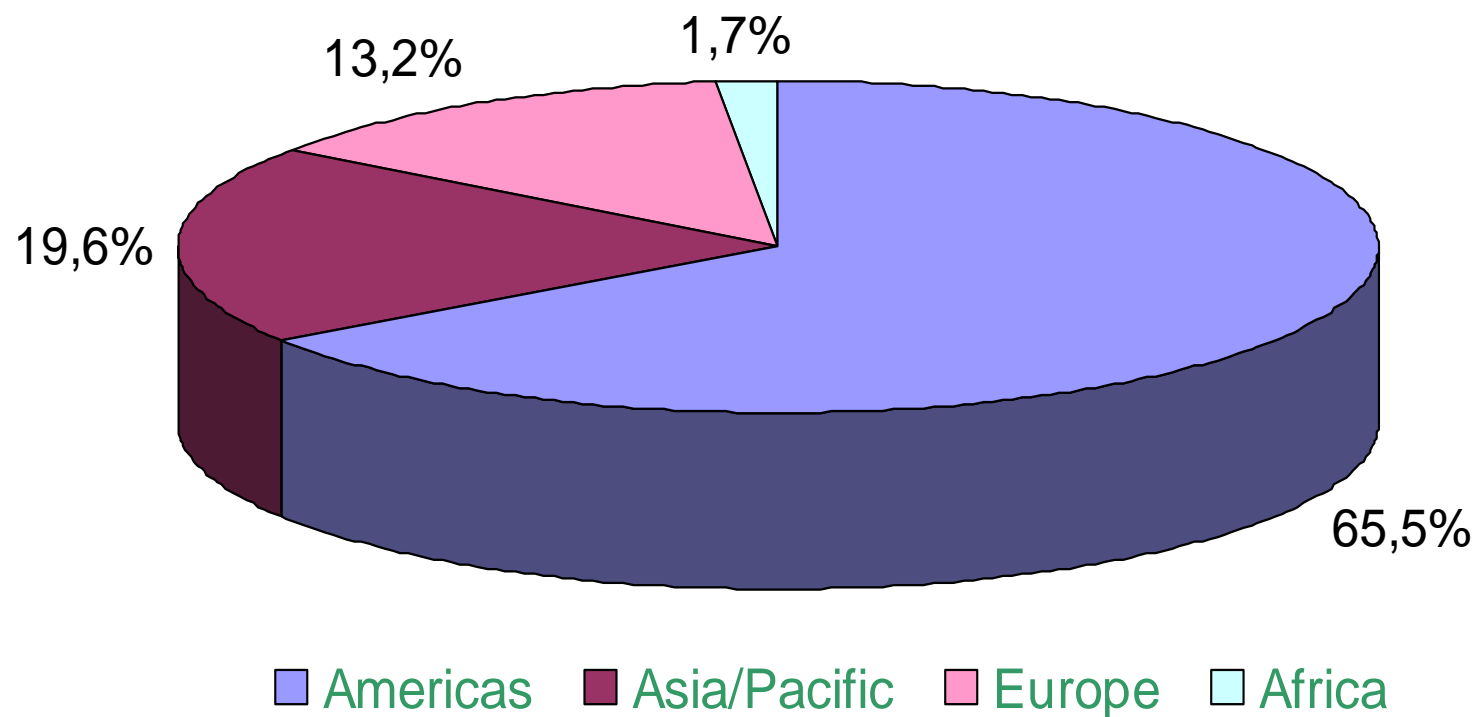
Biomassa

Etanol: custos de produção (2000)

	Matéria Prima	Operacionais
€/litro	0.18	0.2

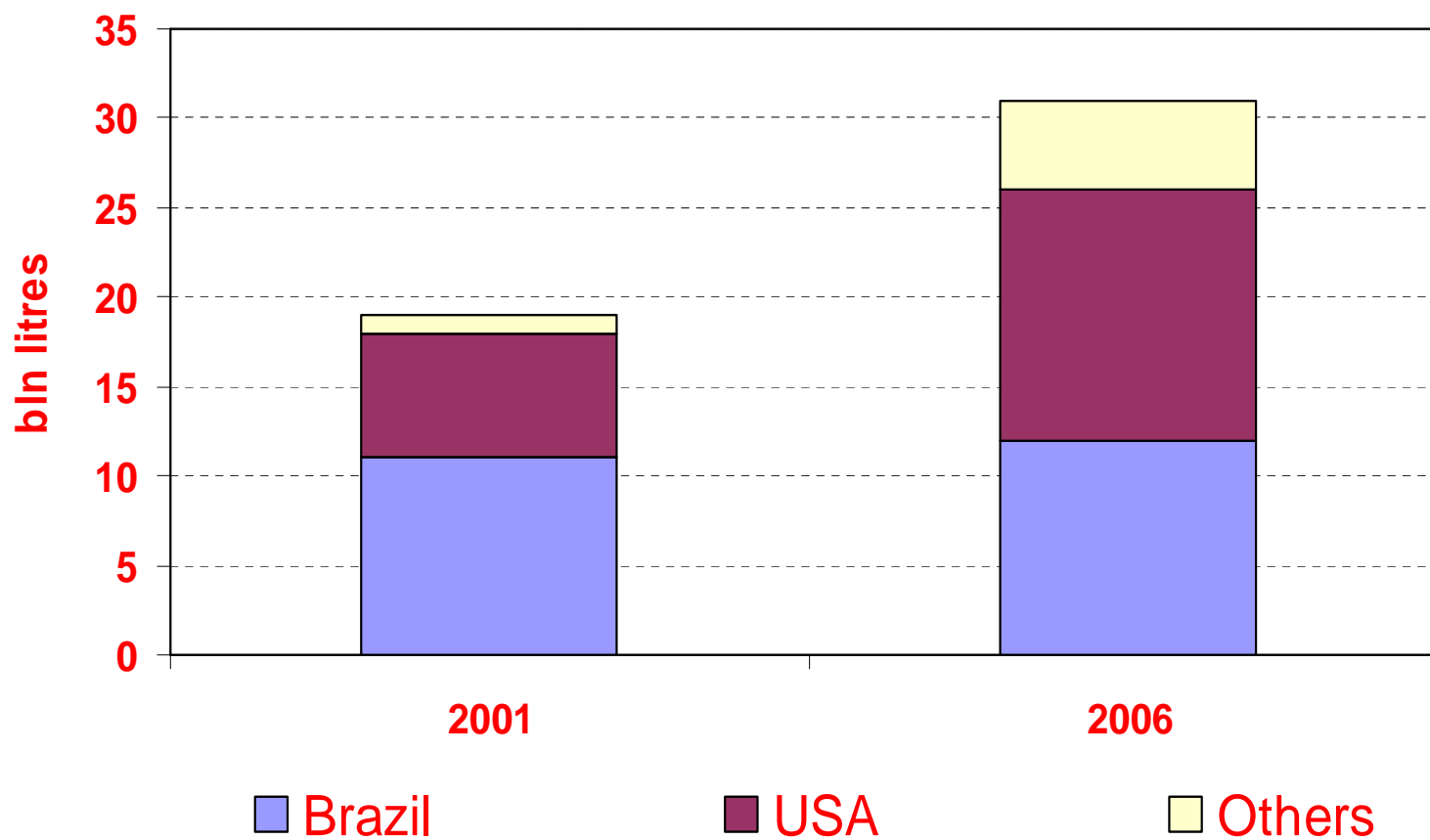
Biomassa

Produção de etanol por Continente em 2001



Biomassa

Produção de etanol (2001 *versus* 2006)



Biomassa

Metanol

Actualmente, o metanol é produzido essencialmente a partir de gás natural e/ou carvão.

A obtenção de metanol a partir da biomassa tem sido extensamente investigada.

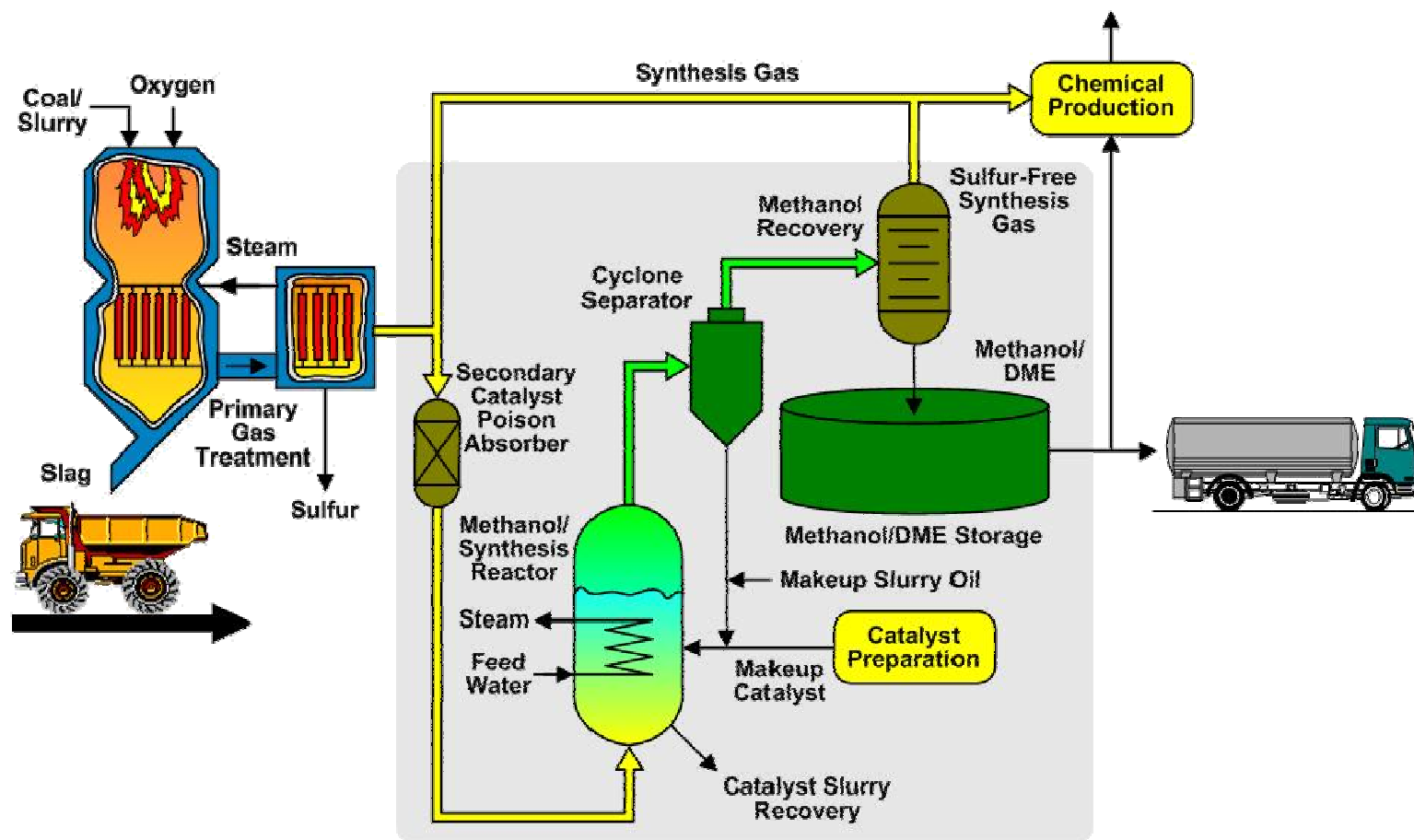
Regra geral, de uma tonelada de biomassa podem ser extraídos cerca de 700 litros de metanol.

O procedimento convencional de obtenção de metanol a partir de gás natural consiste em fazer reagir este gás com vapor de água para obter um gás de síntese composto por CO, CO₂, água e H₂ com o qual se pode obter metanol.

Um processo complementar consiste em utilizar uma oxidação parcial do metano podendo o CO₂ e H₂ produzidos nesta última reacção ser combinados com o H₂ em excesso para a produção de quantidades adicionais de metanol.

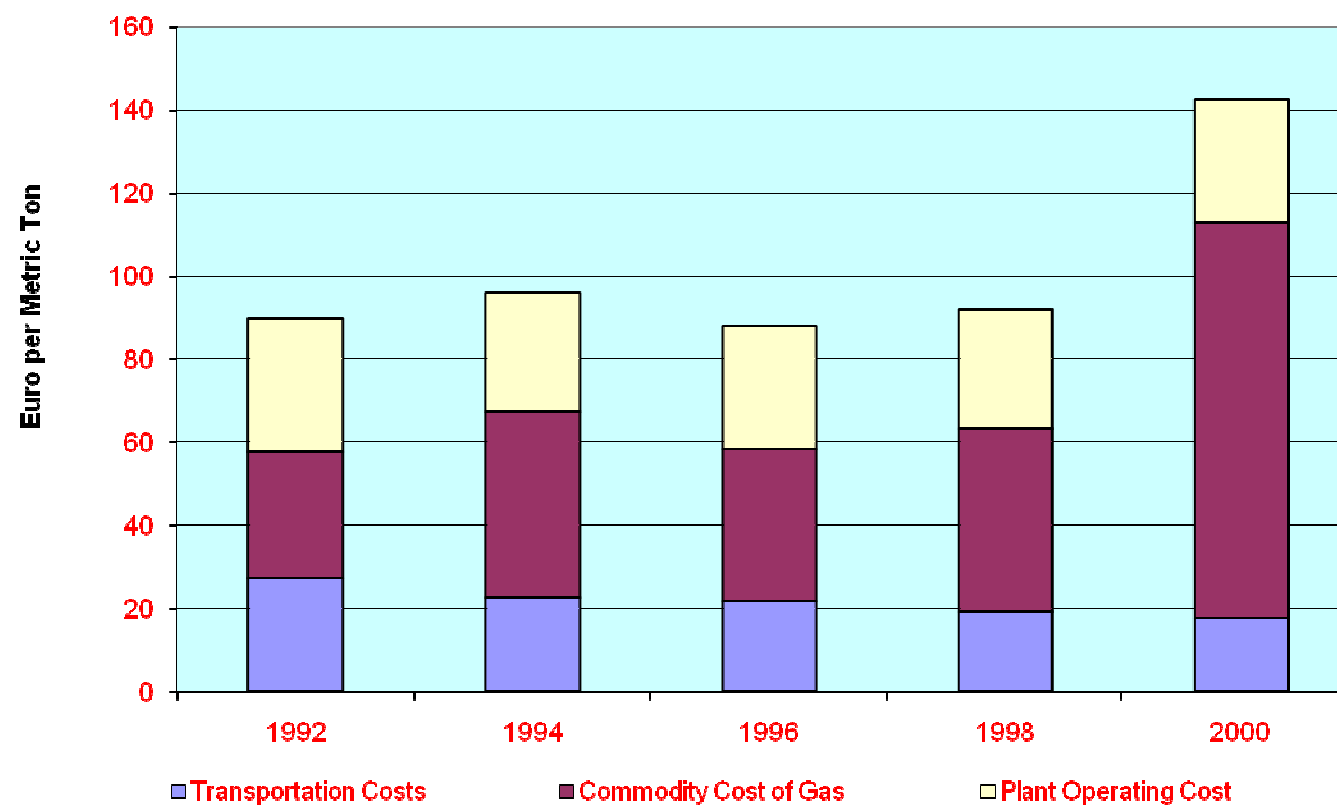
Biomassa

Produção de metanol a partir de carvão



Biomassa

Metanol: custos de produção



No caso da produção de metanol a partir de biomassa o seu custo é superior; em 2001 cerca de €0.063 a €0.116 por litro mais elevado.

Biomassa

Na natureza, a abundância do carvão não tem rival. As suas reservas mundiais conhecidas são suficientes para assegurar, ao ritmo actual de extracção, a exploração durante vários séculos.

No entanto, o carvão é uma fonte de energia particularmente não atractiva, apresentando-se como o combustível fóssil potencialmente mais poluente, nomeadamente no que respeita às emissões de dióxido de carbono, óxidos de azoto e enxofre, partículas e metais pesados.

Existem diversos tipos ou categorias de carvão, desde a antracite num dos extremos até lenhite no outro, os quais podem ser classificados de acordo com as suas propriedades em conjunto com a turfa e a madeira.

O lixo municipal e certos resíduos sólidos industriais podem também ser classificados como combustíveis sólidos.

Biomassa

A composição dos combustíveis sólidos pode ser expressa de várias formas, a saber: *as-received*, em base seca ou em base seca, sem cinzas.

Os combustíveis sólidos não apresentam uma composição uniforme, logo não podem ser representados por uma fórmula química definida.

Basicamente, a sua caracterização é realizada através de dois tipos diferentes de análises químicas: a análise imediata e a análise elementar.

A análise imediata de um combustível é determinada experimentalmente em laboratório e quantifica as percentagens mássicas de humidade, matéria volátil, carbono fixo e cinzas presentes no sólido.

Biomassa

A biomassa é um material celulósico que pode ser, ou não, lenhoso.

A biomassa não lenhosa inclui resíduos agrícolas tais como bagaço de azeitona, palha, cascas e caroços de frutos, sementes e estrume.

A biomassa lenhosa inclui a lenha, pontas e ramos de árvores, casca de árvores e serradura. A madeira seca, por exemplo, é constituída por celulose, hemicelulose, lenhose, resinas e cinzas. A celulose representa cerca de 40-45% da massa da madeira seca, a hemicelulose cerca de 20-35%, a lenhose contribui com 15-30%, enquanto que as resinas e cinzas estão presentes somente em pequenas percentagens.

Além do aproveitamento do potencial energético da biomassa pelas vias indirectas, a queima directa da biomassa sólida em caldeiras de grelha fixa, móvel ou inclinada e de leito fluidizado, entre outras, tem merecido crescente atenção por parte de muitos países, entre os quais Portugal.

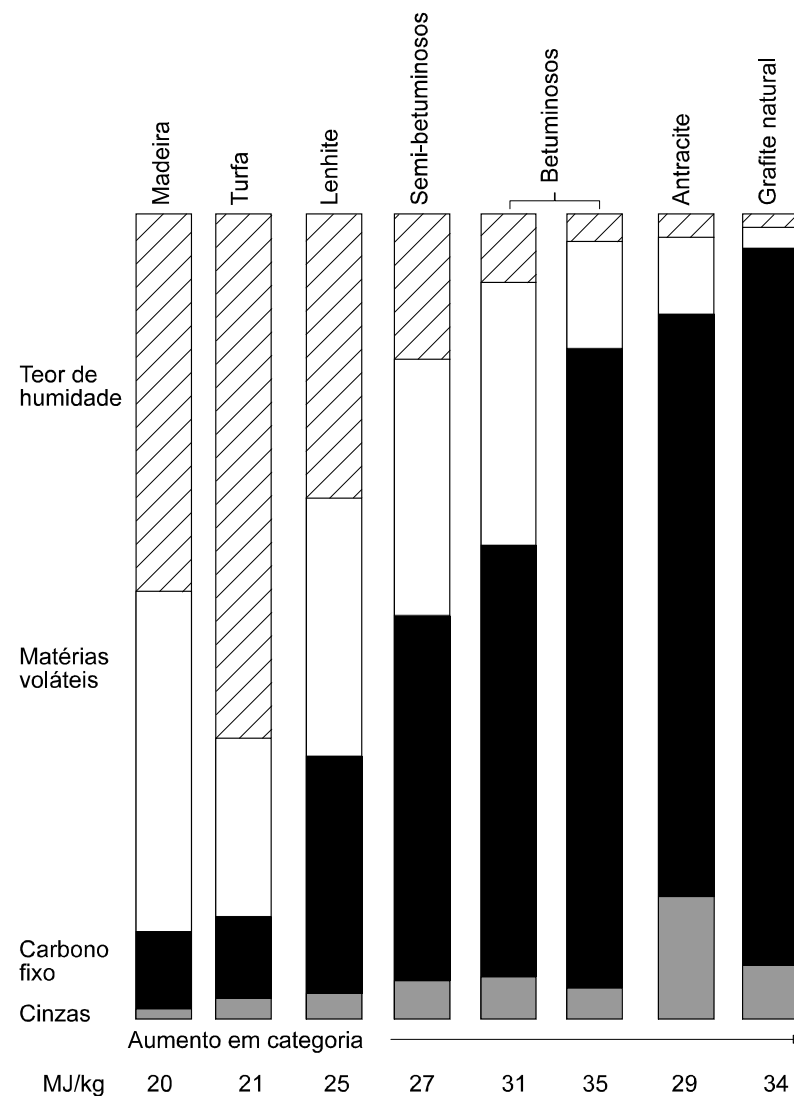
Biomassa

Valores típicos das percentagens mássicas de oxigénio, água e cinzas presentes nos combustíveis sólidos

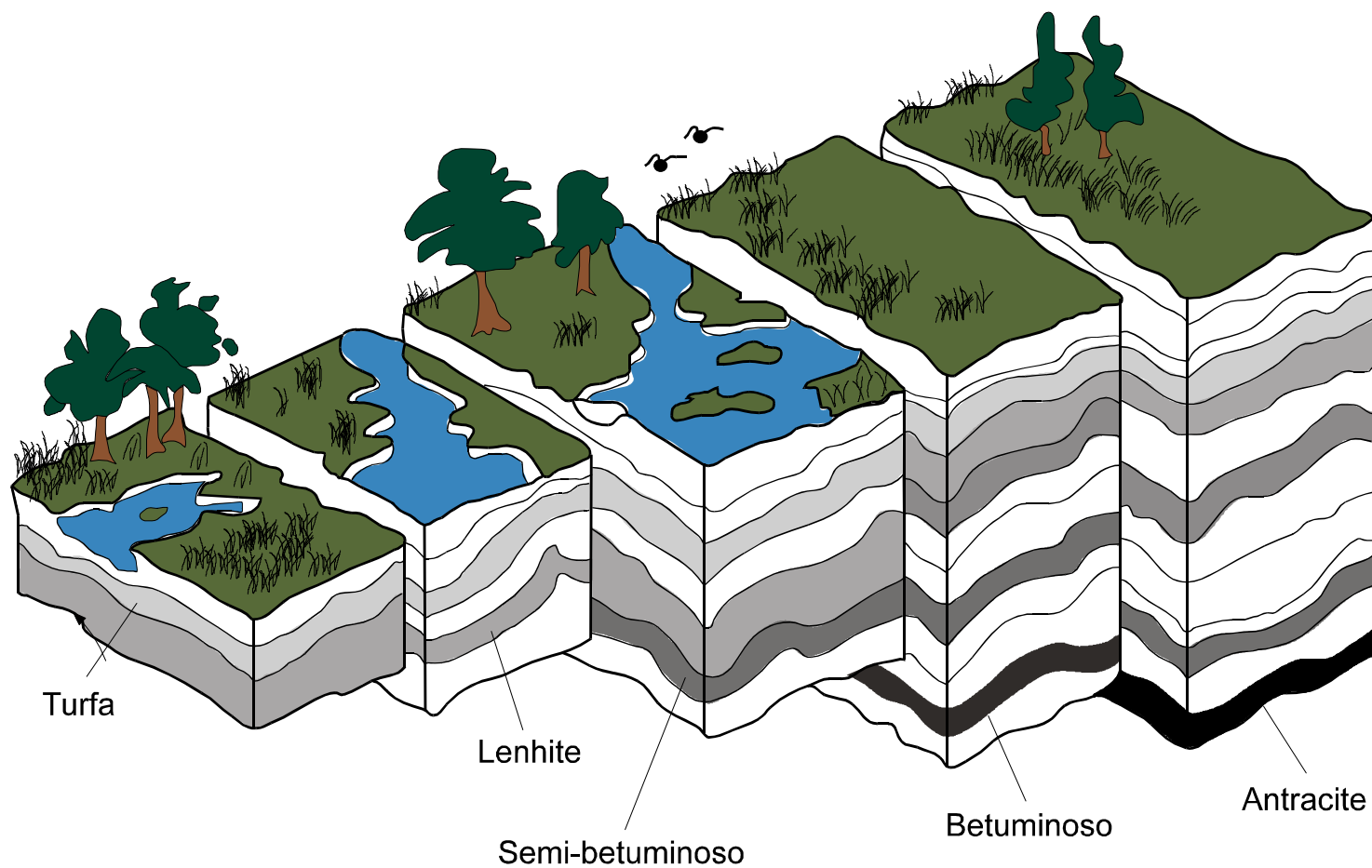
Combustível	Oxigénio (base seca, sem cinzas)	Água (sem cinzas)	Cinzas (base seca)
Madeira	45	15-50	0.1-1
Turfa	35	90	0.1-10
Lenhite	25	30	> 5
Carvão betuminoso	5	5	> 5
Antracite	2	4	> 5

Biomassa

Valores típicos das percentagens mássicas de humidade, matéria volátil, carbono fixo e cinzas e do poder calorífico de vários combustíveis sólidos

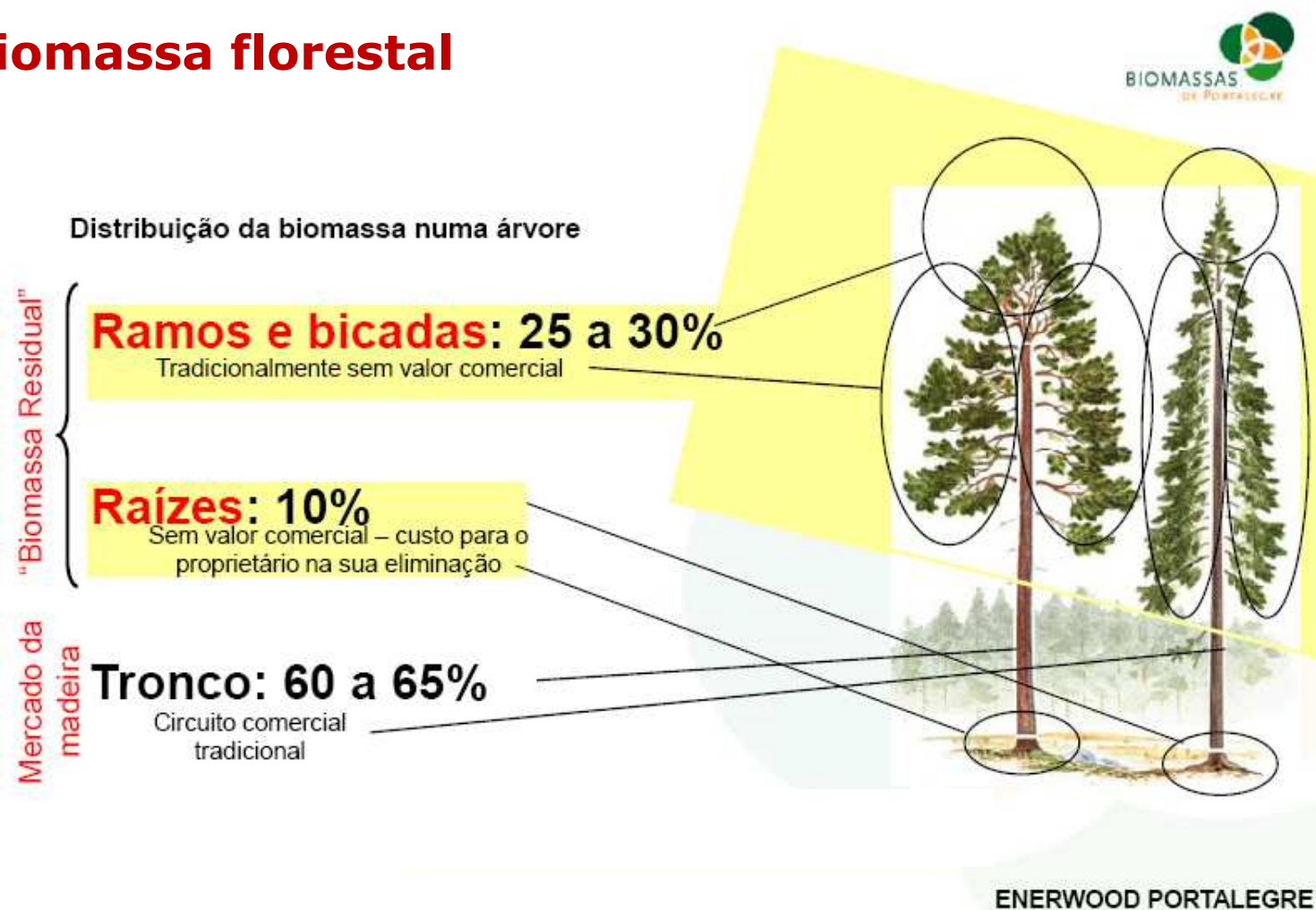


Biomassa



Biomassa

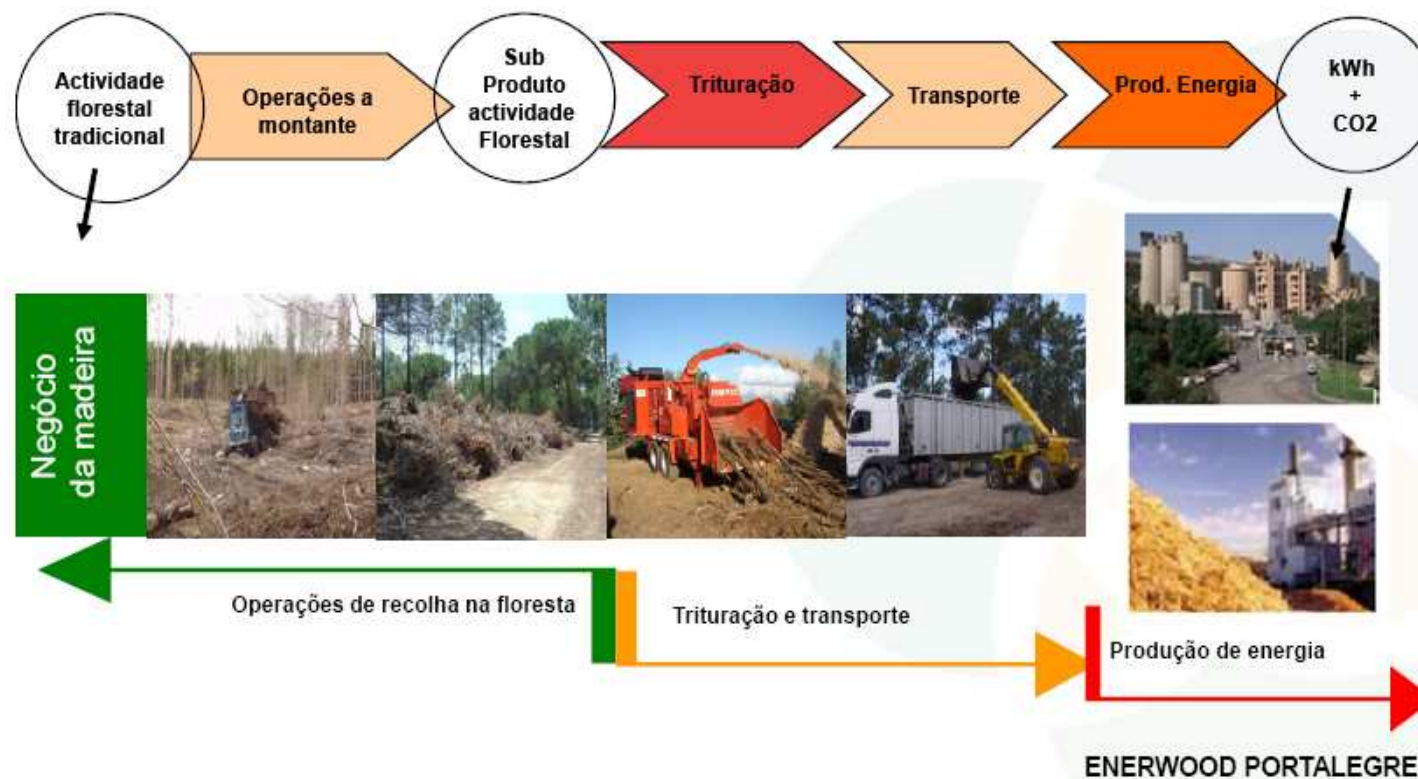
Biomassa florestal



FONTE: Paulo Preto dos Santos, Sobioen, Soluções de Bioenergia, SA, Março 2008

Biomassa

A cadeia de valor



FONTE: Paulo Preto dos Santos, Sobioen, Soluções de Bioenergia, SA, Março 2008

Biomassa

Recolha/Rechega



Transporte da rama até ao parque ou estrada



Monte pronto para trituração



ENERWOOD PORTALEGRE

FONTE: Paulo Preto dos Santos, Sobioen, Soluções de Bioenergia, SA, Março 2008

Biomassa

Operação de trituração



ENERWOOD PORTALEGRE

FONTE: Paulo Preto dos Santos, Sobioen, Soluções de Bioenergia, SA, Março 2008

Biomassa

Operações de carregamento e transporte

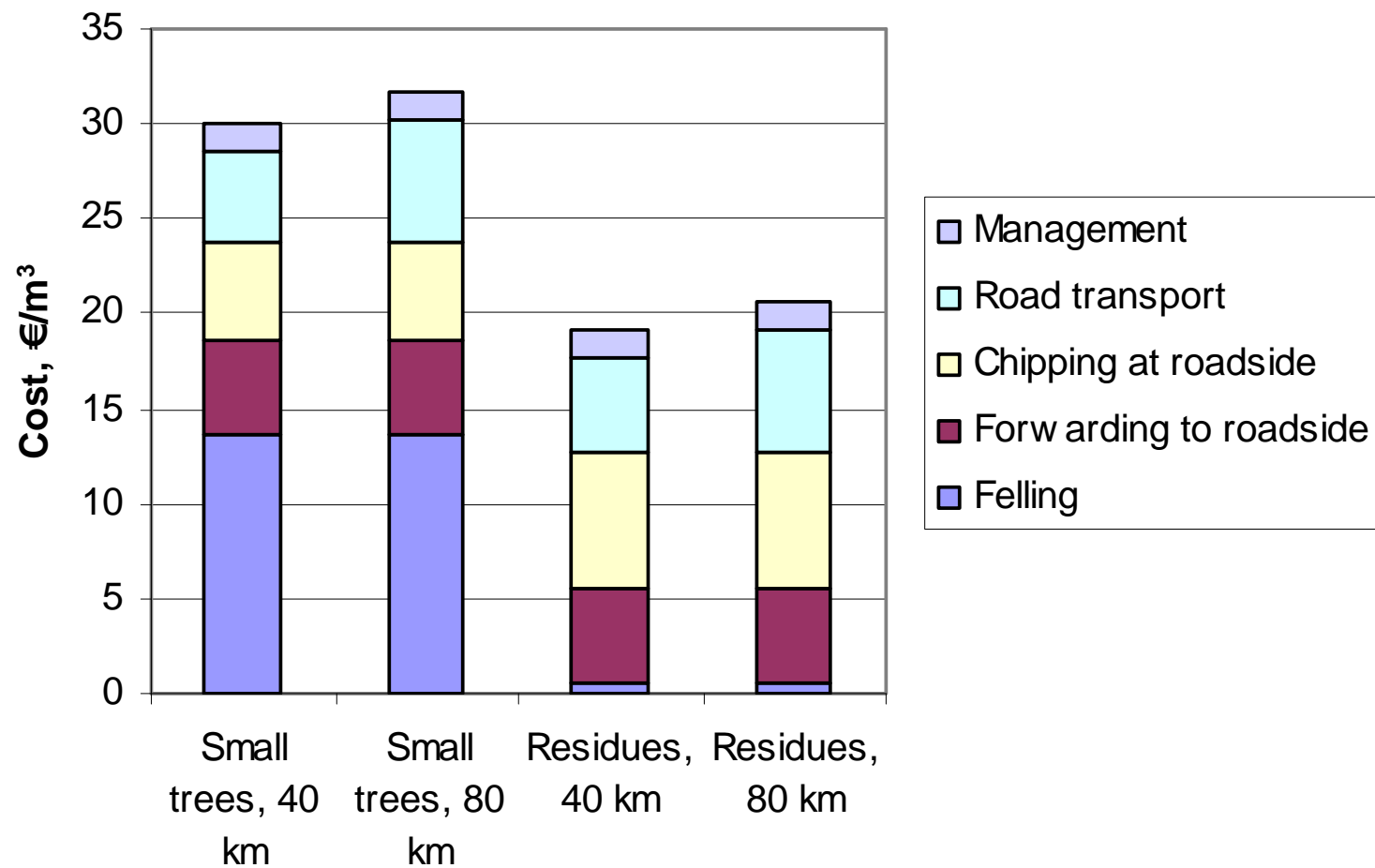


ENERWOOD PORTALEGRE

FONTE: Paulo Preto dos Santos, Sobioen, Soluções de Bioenergia, SA, Março 2008

Biomassa

Custos dos combustíveis florestais na Filândia em 2004



Biomassa

Propriedades de várias biomassas nacionais

Quantidade	Casca de Arroz	Caroço de Pêssego	Serrim	Casca de Pinheiro	Pontas e Ramos de Pinheiro	Caroço Azeitona
Análise imediata (% wt)						
Humidade	9.8	13.3	14.0	16.7	12.5	9.4
Matéria volátil	59.9	66.4	73.2	57.6	63.7	57.8
Carbono fixo	14.7	19.3	12.6	24.5	21.2	19.7
Cinzas	15.6	1.0	0.2	1.2	2.6	13.1
Análise elementar (% wt)						
Carbono	38.8	45.49	44.72	46.24	46.65	43.22
Hidrogénio	4.6	6.26	6.49	5.92	6.25	5.56
Azoto	1.3	0.73	0.06	0.19	0.94	1.86
Enxofre	0.3	0	0	0	0	0
Oxigénio	29.6	33.22	34.53	29.75	31.06	26.86
PCS (MJ/kg)	15.09	18.11	17.37	17.68	18.32	17.54
PCI (MJ/kg)	13.88	16.18	15.99	16.42	17.00	16.36

Biomassa

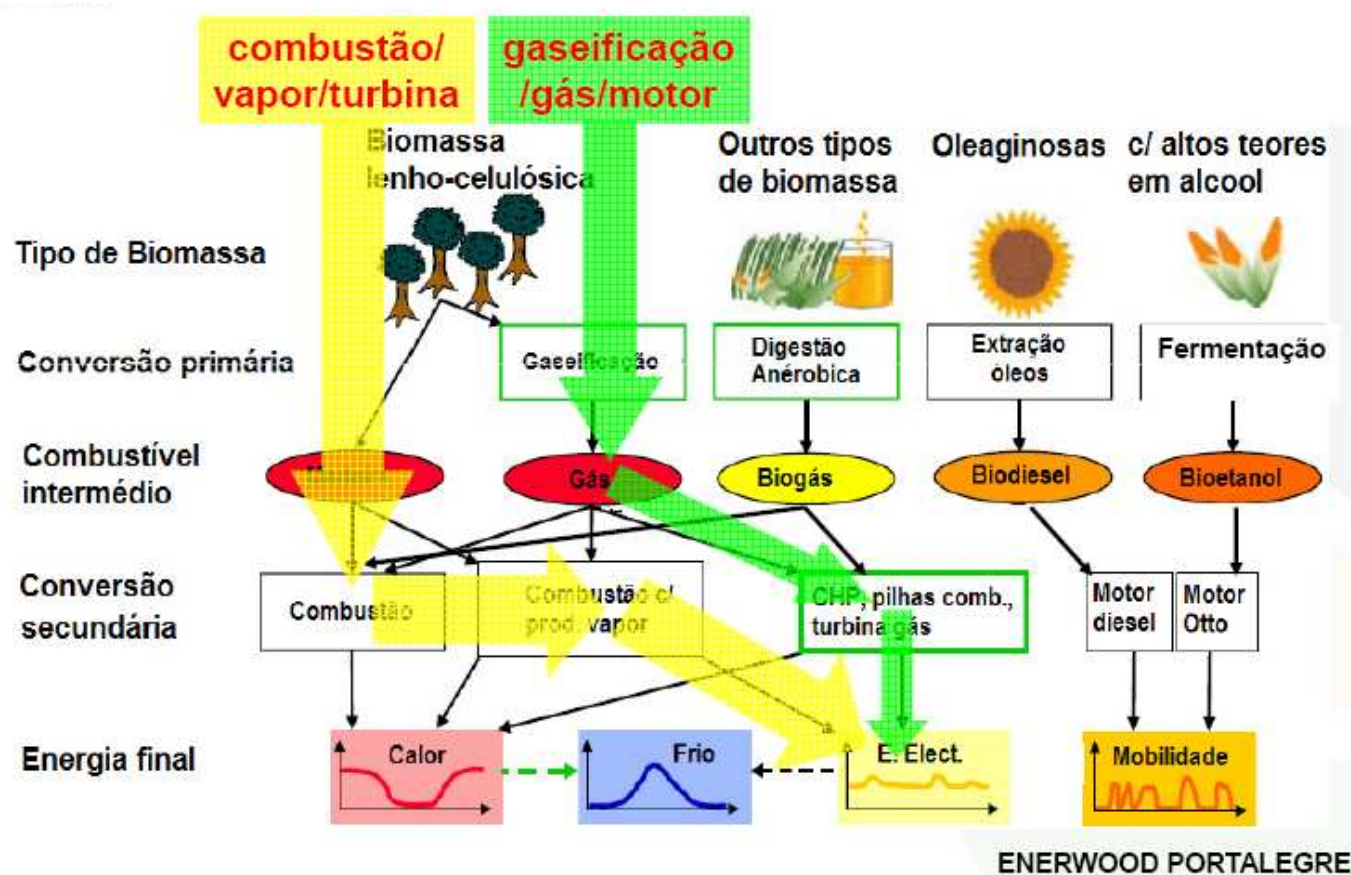
Propriedades de vários combustíveis sólidos

Combustível	Composições em % mássica							PCS (MJ/kg)
	Carbono	Hidrogénio	Azoto	Enxofre	Oxigénio	Matéria volátil	Cinzas	
Cedro	49.0	6.4	–	–	44.6		0.4	19.62
Pinheiro	52.6	6.1	–	–	41.3		0.1	20.72
Pinho vermelho	53.6	5.9	0.1	–	40.4		0.2	21.07
Bétula	49.9	6.5	–	–	43.6		0.3	20.18
Carvalho	50.5	6.6	–	–	42.9		0.2	20.53
Choupeiro	51.9	6.3	–	–	41.8		0.7	20.89
Madeira (típica)	52.2	6.1	0.1	–	41.6	79.3	1.5	20.88
Turfa	57.5	5.5	1.6	0.4	35.0	68.0	8.0	20.93
Lenhite	74.8	4.8	1.2	1.2	18.0	46.8	29.0	27.80
Carvão Semi-betuminoso	72.5	4.8	1.5	4.0	17.2	47.5	17.5	28.97
Carvão betuminoso	85.0	5.6	1.5	1.4	6.5	36.7	7.0	35.82
Antracite	93.0	3.7	1.3	0.7	1.3	7.5	8.0	36.28
Carvão vegetal	93.0	2.5	0.8	0.1	3.6	10.0	1.0	34.75
Coque	93.0	3.0	1.0	1.0	2.0	8.0	7.0	34.33

(Todos os dados em base seca, sem cinzas)

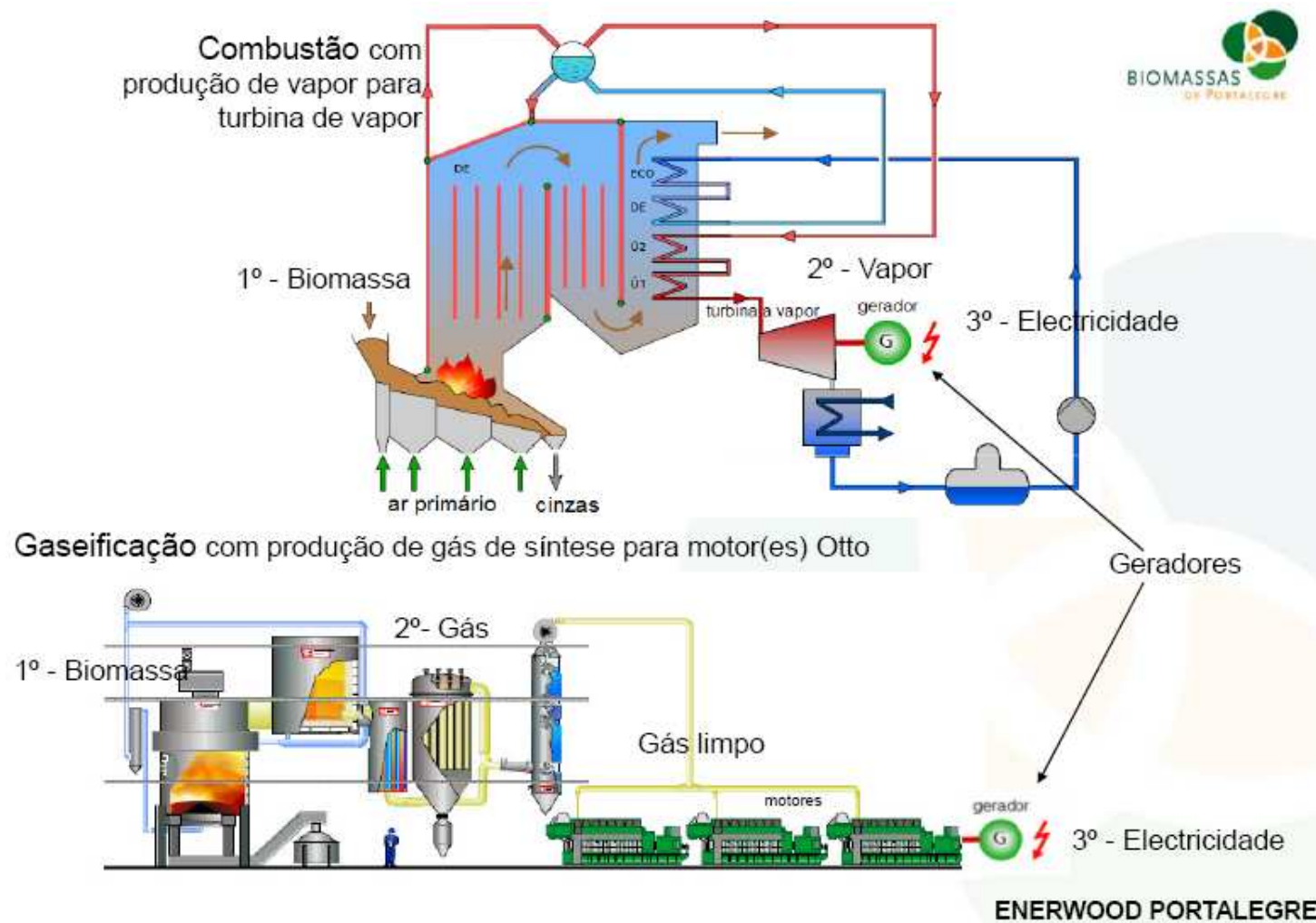
Biomassa

Transformação da biomassa – produção de energia



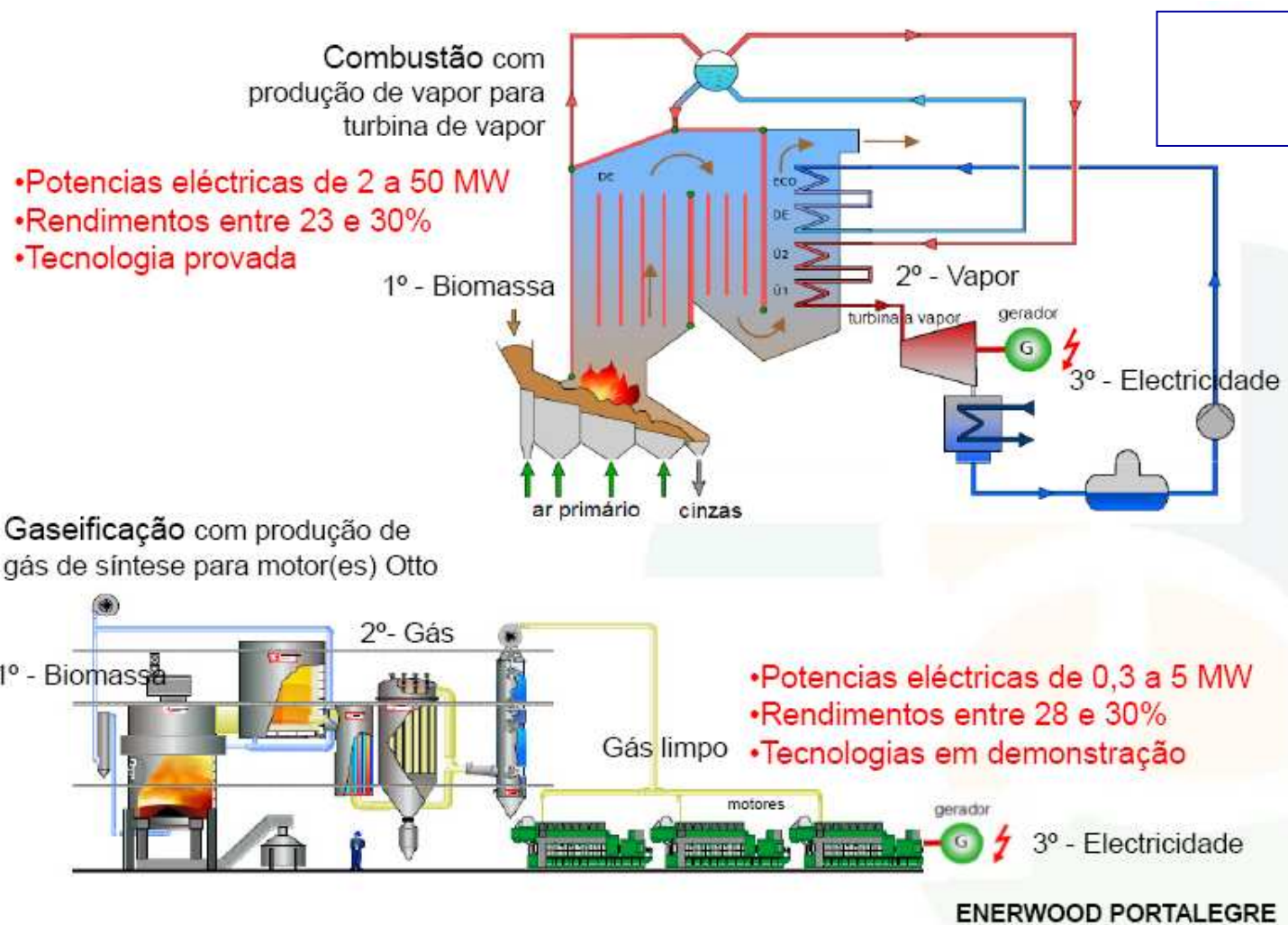
FONTE: Paulo Preto dos Santos, Sobioen, Soluções de Bioenergia, SA, Março 2008

Biomassa



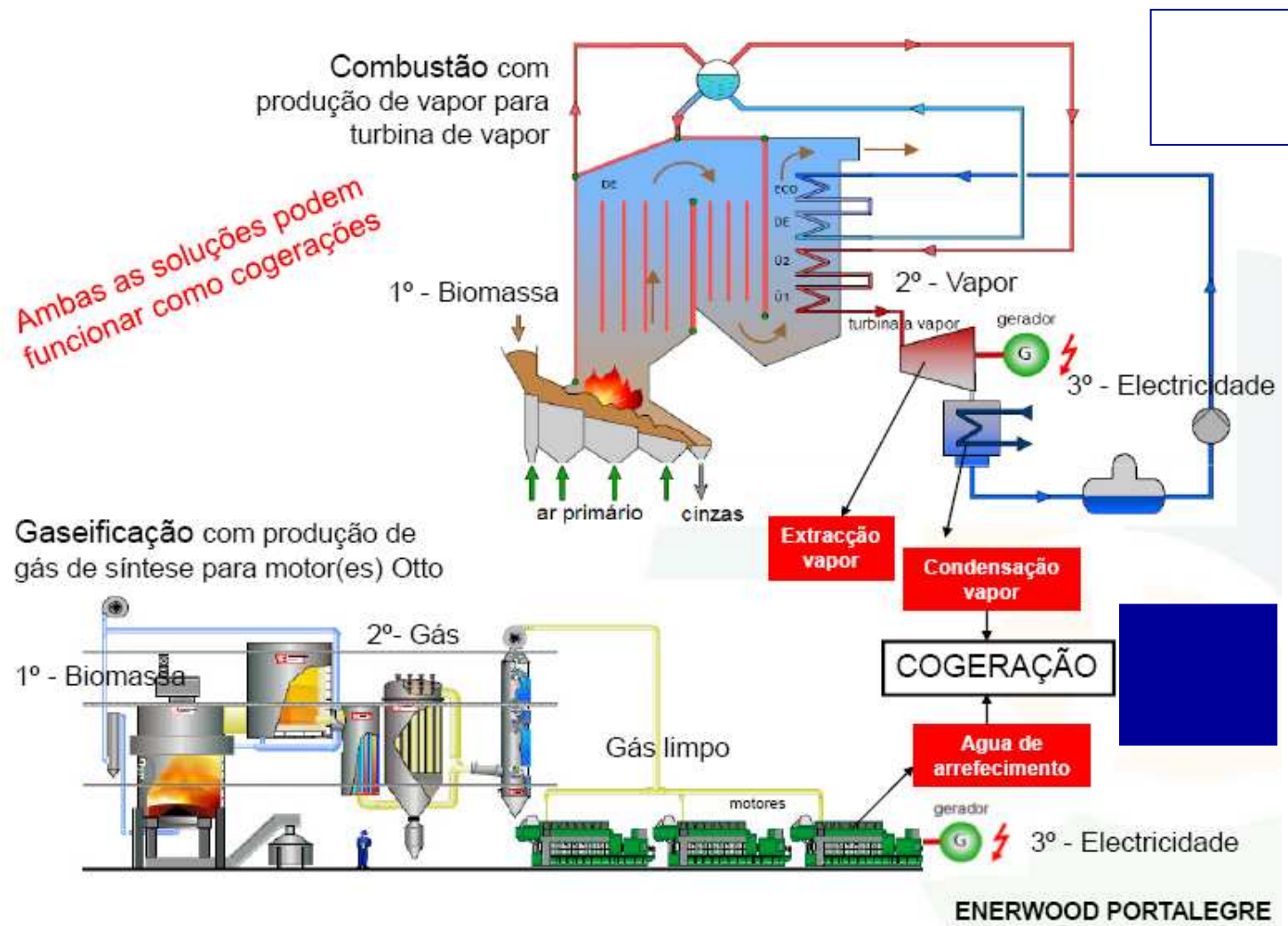
FONTE: Paulo Preto dos Santos, Sobioen, Soluções de Bioenergia, SA, Março 2008

Biomassa



FONTE: Paulo Preto dos Santos, Sobioen, Soluções de Bioenergia, SA, Março 2008

Biomassa



FONTE: Paulo Preto dos Santos, Sobioen, Soluções de Bioenergia, SA, Março 2008

Biomassa

Central de resíduos florestais de Mortágua (Portugal)

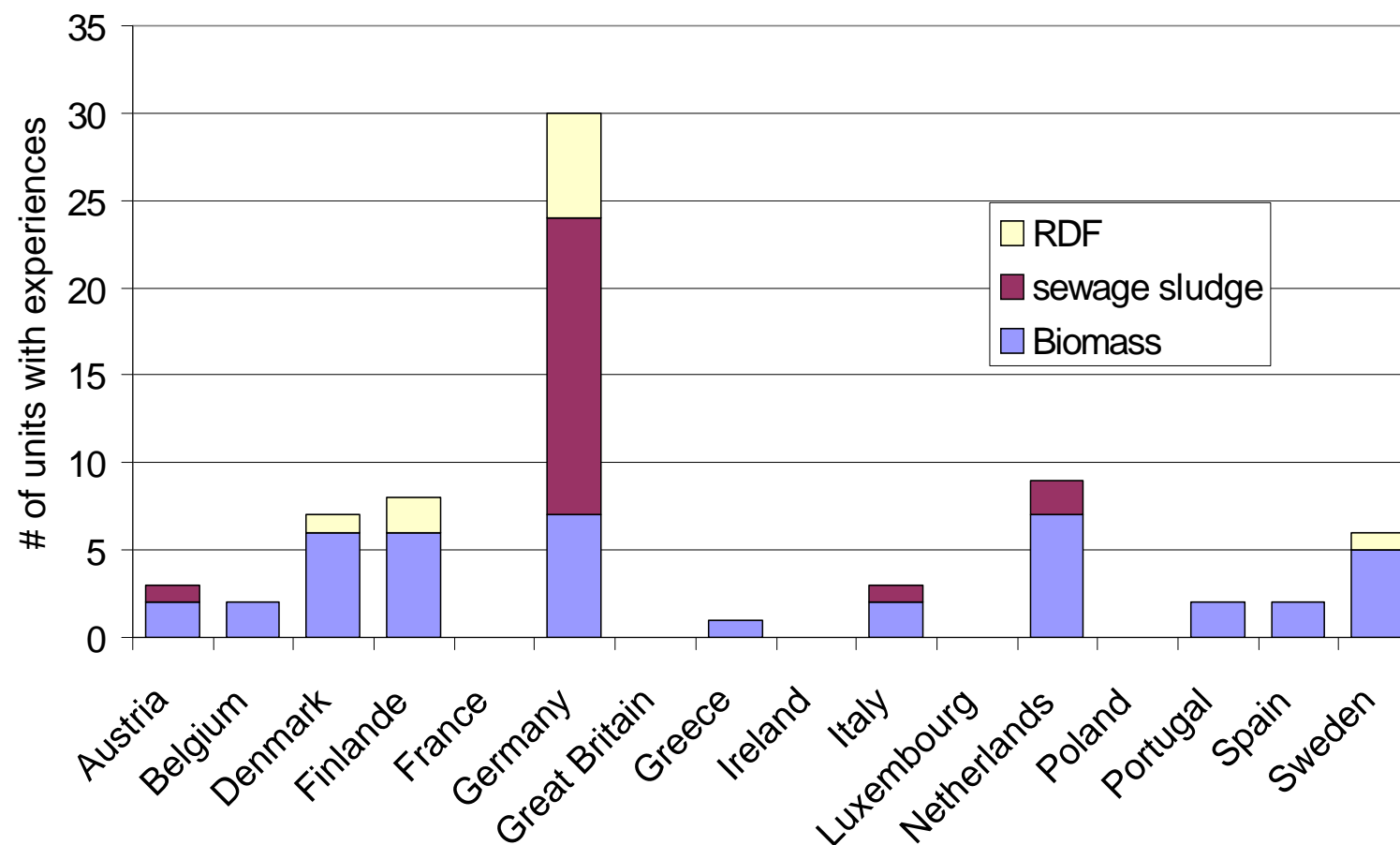
A central tem uma potência instalada de 9 MW e entrou em serviço industrial em 1999.

Em 2003, a central teve uma produção líquida de cerca de 38 GWh, tendo os resíduos florestais consumidos atingido cerca de 90 mil toneladas, das quais perto de 78% foram resíduos florestais directos e 22% cascas de pinheiro e de eucalipto.



Biomassa

Co-combustão na Europa





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Combustíveis Derivados de Resíduos

Estudo solicitado pelo INR



AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE CDR EM PORTUGAL CONTINENTAL

Estudos base

Coordenadores Científicos e Tecnológicos

Susete Martins Dias e Mário Costa

Elaborado por:

Susete Martins Dias, Rita Barros Silva,

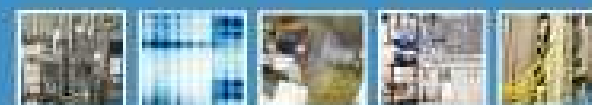
Filipe Barreiro e Mário Costa

Data da elaboração:

Julho de 2006

Instituto Superior Técnico

CEBQ – Centro de Engenharia Biológica e Química



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
QUÍMICA E BIOLÓGICA

DEM

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Introdução



CDR = COMBUSTÍVEIS DERIVADOS DE RESÍDUOS

CONCEITO EXISTENTE DESDE A DÉCADA DE 70

EM REDEFINIÇÃO ACTUALMENTE

QUESTÕES AMBIENTAIS – CO₂

QUESTÕES ENERGÉTICAS - renováveis

QUESTÕES ECONÓMICAS - barato



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Contexto Português



PIRSUE:

EIXO 3, MEDIDA 12 - Avaliação da valorização energética das fracções de refugo de unidades de triagem e tratamento mecânico e biológico (UTMB) através da produção de Combustíveis Derivados de Resíduos.

ENTRADA EM FUNCIONAMENTO - 2006

REJEITADOS E REFUGOS COM PCI



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Combustíveis Derivados de Resíduos

Destinos finais do RSU em 2010

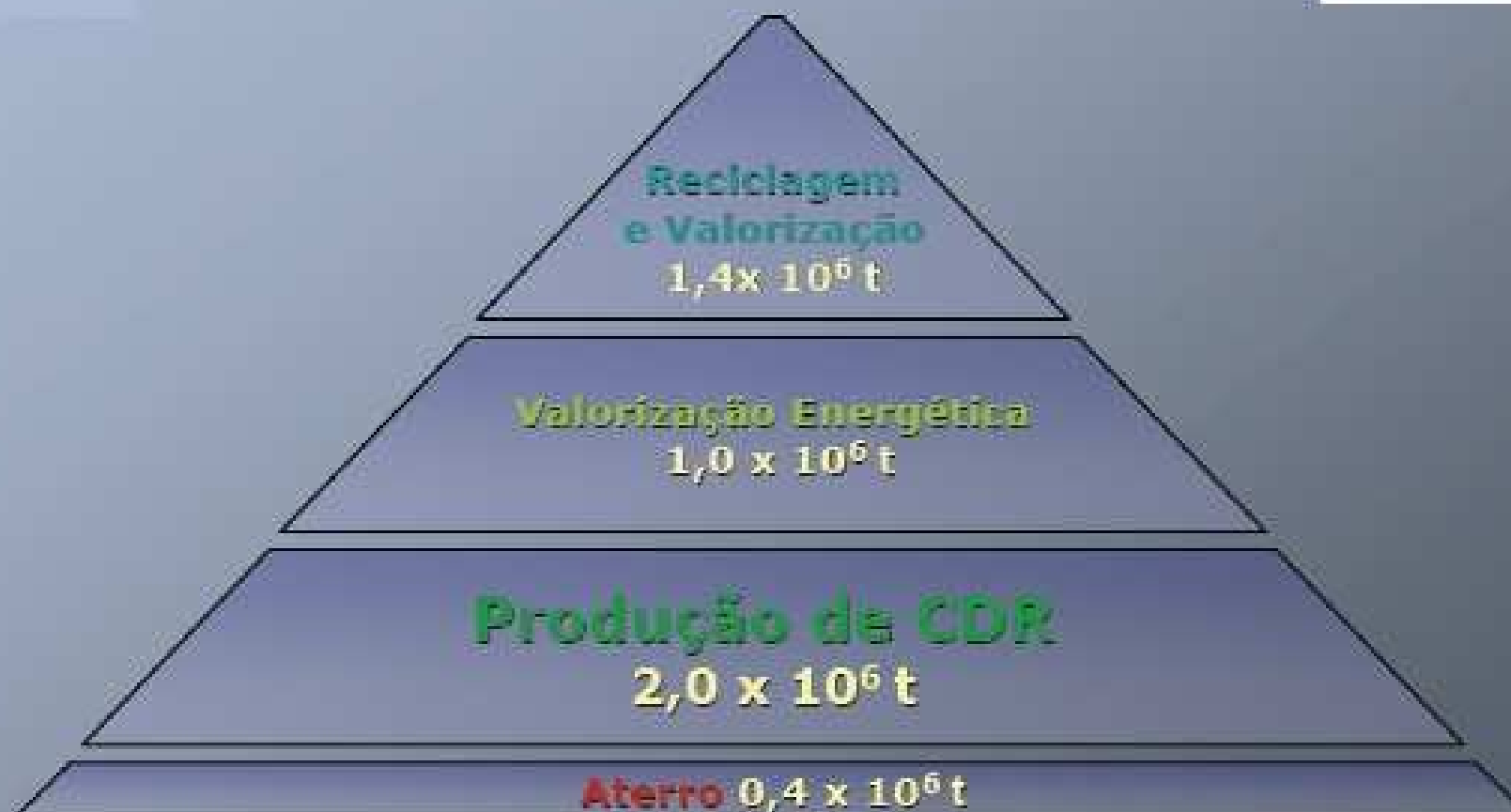




INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Combustíveis Derivados de Resíduos

Destinos finais do RSU em 2010



Enquadramento Normativo



NORMAS JÁ EXISTENTES NA EUROPA

FINLÂNDIA = sfs 5875 – REF fuel

ITÁLIA = uni 9903 – Combustibili derivato da rifiuti (CDR)

ALEMANHA = ral-gz 724


CEN – comité europeu de normalização

CEN/TC 343 – CSR = combustíveis sólidos recuperados

Enquadramento Normativo



NORMAS CEN:

definem 5 classes de qualidade para o combustível
com base  PCI, teor em Cloro e teor em Mercúrio

pré-especificações em fase final de elaboração

ENQUADRAMENTO NORMATIVO EUROPEU DEFINIDO NO PERÍODO
2007-2010



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Definições



Combustível Derivado de Resíduos (CDR)

é todo o combustível preparado a partir de
resíduos não perigosos

Combustível Sólido Recuperado (CSR)

é o CDR preparado de acordo com o previsto na
norma CEN



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

CSR



- produto classificado segundo o sistema que assenta nos parâmetros PCI, teor em Cl e teor em Hg
- capaz de cumprir as regras de conformidade para a classificação num período de 12 meses



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

CSR



- **com propriedades especificadas de acordo com a norma**

obrigatória: código da classe, origem, forma, tamanho, conteúdo em cinzas, teor em humidade, PCI e as propriedades químicas.

voluntária: conteúdo em biomassa, composição física, preparação do combustível, propriedades físicas e outras propriedades químicas cuja especificação não seja obrigatória



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Classes do CSR



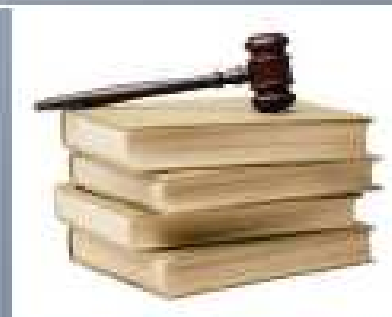
- 5 classes em PCI, Cl e Hg:

Propriedade	Medida Estatística	Unidade	Classes				
			1	2	3	4	5
Poder Calorífico Inferior (PCI)	Média	MJ/kg (tal como recebido)	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Teor em Cloro (Cl)	Média	% (base seca)	$\leq 0,2$	$\leq 0,6$	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	≤ 3
Teor em Mercúrio (Hg)	Mediana Percentil 80	mg/MJ (tal como recebido)	$\leq 0,02$	$\leq 0,03$	$\leq 0,08$	$\leq 0,15$	$\leq 0,50$
		mg/MJ (tal como recebido)	$\leq 0,04$	$\leq 0,06$	$\leq 0,16$	$\leq 0,30$	$\leq 1,00$



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Enquadramento Legislativo



para a utilização de CDR:

D.L. 85/2005, de 28 de Abril* (incineração e co-incineração)

D.L. 178/2006, de 5 de Setembro (Regulamento Geral de Resíduos,
em revisão)

D.L. 194/2000, de 21 de Agosto (PCIP)

NORMAS (ainda não definidas)

BREF do sector (Melhores Técnicas Disponíveis – MTD)

* no caso das Centrais de Biomassa, até 10% de incorporação não é aplicável



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Enquadramento na política energética e ambiental



CDR deve ser visto de forma integrada:

1. COMBUSTÍVEL ✓

2. FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL (FER) ✓

conteúdo em biomassa = renovável

3. EVITA EMISSÃO DE CO₂ FÓSSIL ✗ (em análise)

conteúdo biogénico = CO₂ não fóssil



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

CDR e CO₂



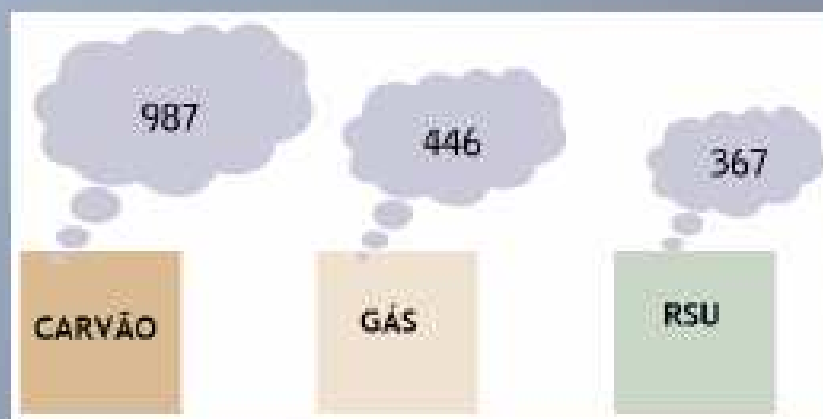
CDR = conteúdo fóssil + conteúdo em biomassa

(plásticos, borrachas, etc.)

(papel, madeira, etc.)

CO₂

FER - CO₂



g de CO₂ fóssil/kWh de electricidade

Fonte: IEA BIOENERGY (2003)

evita emissões de CO₂ fóssil

fonte robusta e fiável

evita emissões de GEE nos aterros

permite maior índice reciclagem

reduz impacto dos lixiviados



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

CDR e CO₂



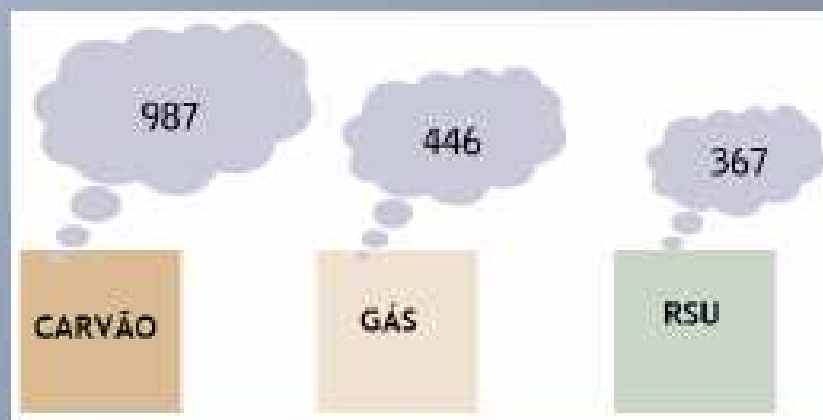
CDR = conteúdo fóssil + conteúdo em biomassa

(plásticos, borrachas, etc.)

(papel, madeira, etc.)

CO₂

FER - CO₂



g de CO₂ fóssil/kWh de electricidade

Fonte: IEA BIOENERGY (2003)

evita emissões de CO₂ fóssil

fonte robusta e fiável

evita emissões de GEE nos aterros

permite maior índice reciclagem

reduz impacto dos lixiviados



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Tipos de CDR

Fluff

material solto,
de baixa densidade,
transportável pelo ar.



(CEN/TS 15357:2006)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Tipos de CDR

Pellets

aglomeração de material
em cubo, disco ou cilindro,
com diâmetro < 25 mm.



(CEN/TS 15357:2006)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Tipos de CDR

Briquette

**bloco ou cilindro de CDR
com diâmetro > 25 mm**



(CEN/TS 15357:2006)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Produção de CDR



1. TBM = tratamento mecânico e biológico



2. Bioestabilização





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TMB

Sequência de operações unitárias para separar componentes indesejados e condicionar a matéria combustível, controlando-se assim a qualidade do CDR

- Separação mecânica e selecção de fluxos
- Redução de tamanho das partículas
- Secagem, homogeneização e densificação
- Embalamento e armazenamento



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TMB

Separação mecânica e selecção de fluxos





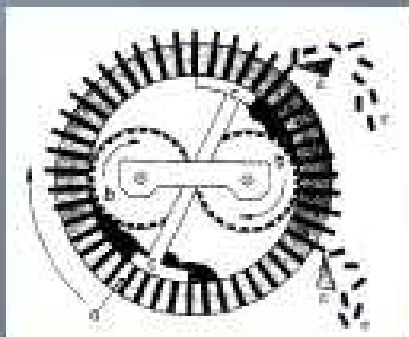
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

TMB

Redução de tamanho das partículas



Secagem e densificação





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Bioestabilização

Processo de tratamento biológico seguido de tratamento mecânico

aproveitamento dos orgânicos
não putrescíveis para o
enriquecimento do combustível

↑ PCI





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Combustíveis Derivados de Resíduos

Embalamento e armazenamento

São necessários alguns cuidados pois o CDR é, sob determinadas condições, inflamável





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Eficiência de produção de CDR a partir de RSU



**A quantidade de CDR produzida por tonelada de RSU
varia com:**

- tipo de recolha do RSU
- processo de produção de CDR
- qualidade exigida ao CDR

valores médios:

CDR (fluff) = 23 a 50 % em massa do RSU



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Custos da produção de CDR



ainda pouco explorado devido a:

- ausência de uma definição concreta de CDR
- CDR de vários fluxos \leftrightarrow diferentes custos associados
- CDR preparado somente a partir de RSU é pouco frequente
- no caso de TMB custo do CDR está incorporado no custo do composto



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Custos da produção de CDR



exemplos (custos segundo Caputo e Pelagagge (2002) :

caso 1

fluff tamanho médio

PCI – 13 MJ/kg

9,48 €/t (RSU)

6,12 €/t (50% RSU+ 50% chip pneu)



caso 2



fluff tamanho pequeno

PCI ~ 13 MJ/kg

21,18 €/t (RSU)

15,60 €/t (50% RSU+50% chip pneu)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Análise comparativa



Custos da Biomassa em Portugal:

Tipo	Preço (€/m ³)
Eucalipto	12,57
Pinheiro	19,72
Oak	27,12
Castanheiro	23,56

Empresa	Produtos	Preço
Pires Barbacena	casca	10 (€/m ³)
	serradura	10 (€/m ³)
	ramagens	23 (€/t)

Combustível sem especificações de granulometria, humidade, etc

PCI ~16 MJ/kg



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Utilização de CDR



TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

➡ **combustão em suspensão**

fornos rotativos

➡ **combustão em grelha**

grelha móvel

➡ **combustão em leito fluidizado**

➡ **gaseificação**



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Combustíveis Derivados de Resíduos

Principais utilizadores de CDR



- ➡ **indústrias de grande intensidade energética**
- ➡ **consumidores de combustíveis fósseis**

centrais termoelétricas alimentadas a carvão

cimenteiras

papel e pasta

metalúrgicas

cerâmicas

CO-GERAÇÕES



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Combustíveis Derivados de Resíduos

Estado da arte: Produção de CDR



países produtores de CDR

Áustria, Finlândia, Alemanha, Itália, Holanda e Suécia

CDR preparado a partir de

RSU separado na fonte Resíduos do comércio e indústria RC&D	Finlândia
Fracção de RSU com maior PCI	Suécia
Papel e plástico do RSU	Holanda
RSU Resíduos do comércio e indústria Madeiras, lamas de ETAR, etc	Áustria Alemanha Itália



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Estado da arte: Produção de CDR



⇒ FINLÂNDIA

diferentes esquemas de recolha selectiva

zonas urbanas: papel, biodegradáveis e secos

outras zonas: fracção húmida e fracção seca

resíduos industriais, comerciais e de construção

poucas impurezas
processamento simples

} CDR classes I ou II

RSU

algumas impurezas
processamento complexo

} CDR classes II ou III



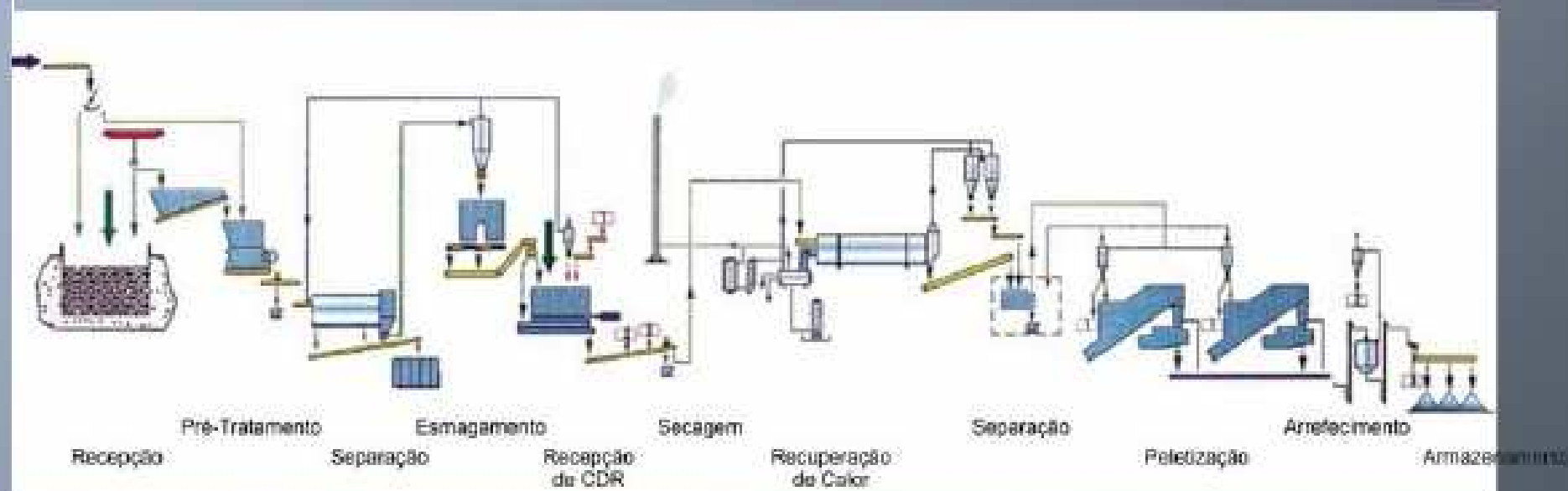
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Combustíveis Derivados de Resíduos

Estado da arte: Produção de CDR



⇒ **FINLÂNDIA** - exemplo Evapower Oy, produção de *pellets*



Fonte: Wilen et al. (2004)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Estado da arte: Produção de CDR



⇒ **ITÁLIA**

recolha multimaterial

orgânicos, recicláveis e indiferenciados



Produção de CDR (*combustibili derivati da rifiuti*)

TMB

TM (tratamento mecânico)

adição de fracções com PCI elevado



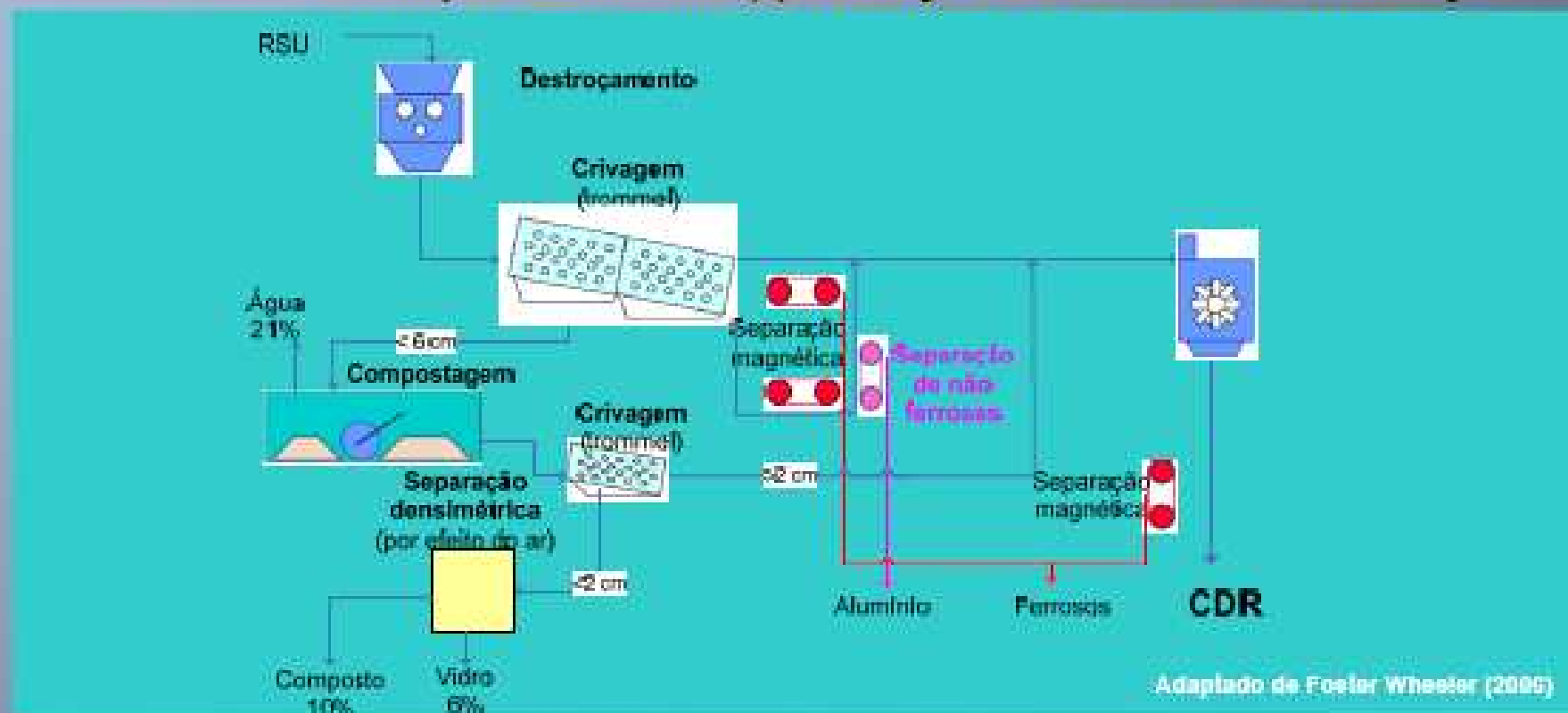
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Combustíveis Derivados de Resíduos

Estado da arte: Produção de CDR



➔ **ITÁLIA** - exemplo Lomellina, produção associada à utilização



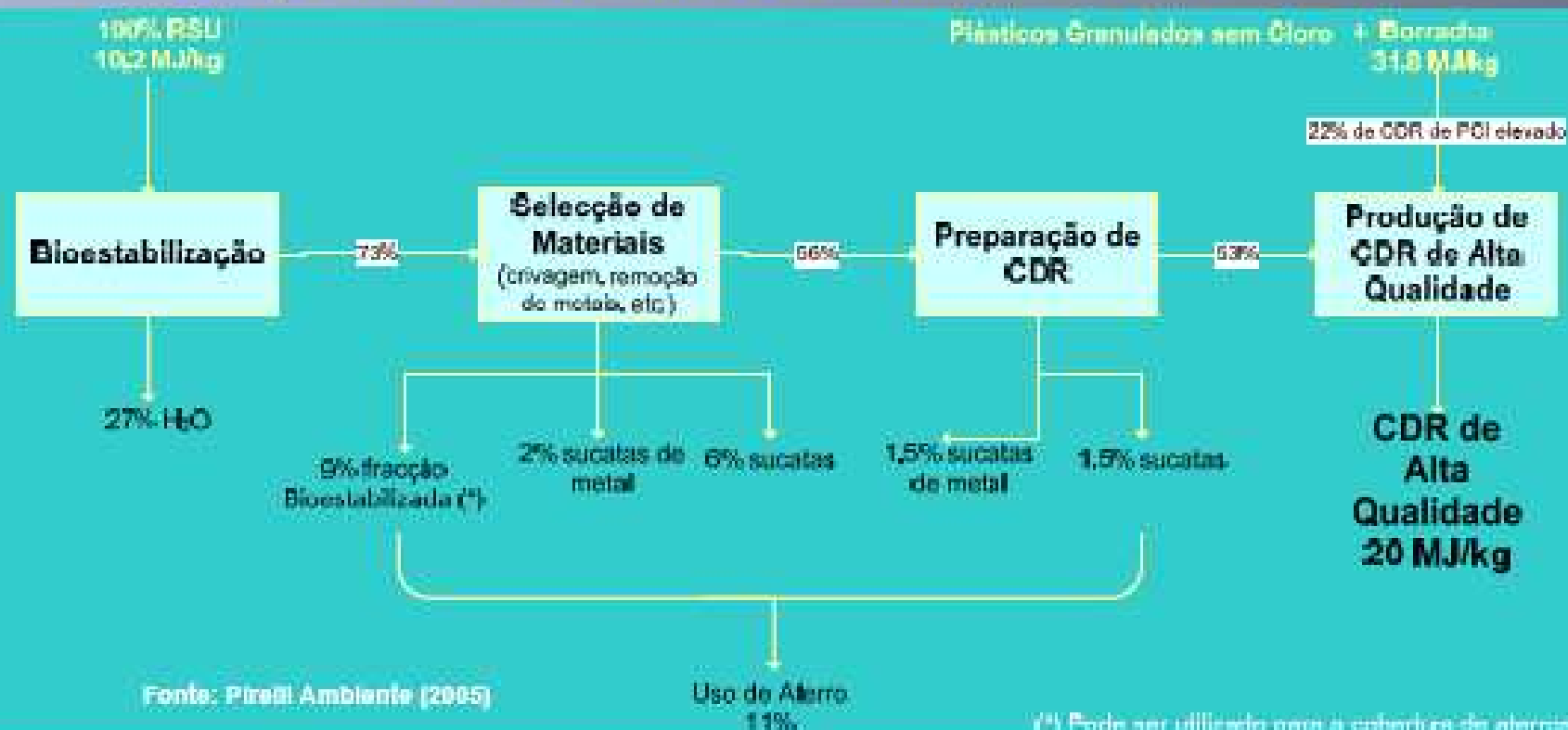


INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Estado da arte: Produção de CDR



→ **ITÁLIA** - exemplo **I.D.E.A. GRANDA**, incorporação de fracções com PCI elevado – **Pirelli Ambiente**





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Estado da arte: Produção de CDR



⇒ **ITÁLIA** - exemplo Massafra, produção CDR densificado



Adaptado de ECOMASTER (2006)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Estado da arte: Produção de CDR



➡ **ALEMANHA**

RSU indiferenciado



Produção de CDR

TMB com o objectivo de separar a fracção com maior poder calorífico



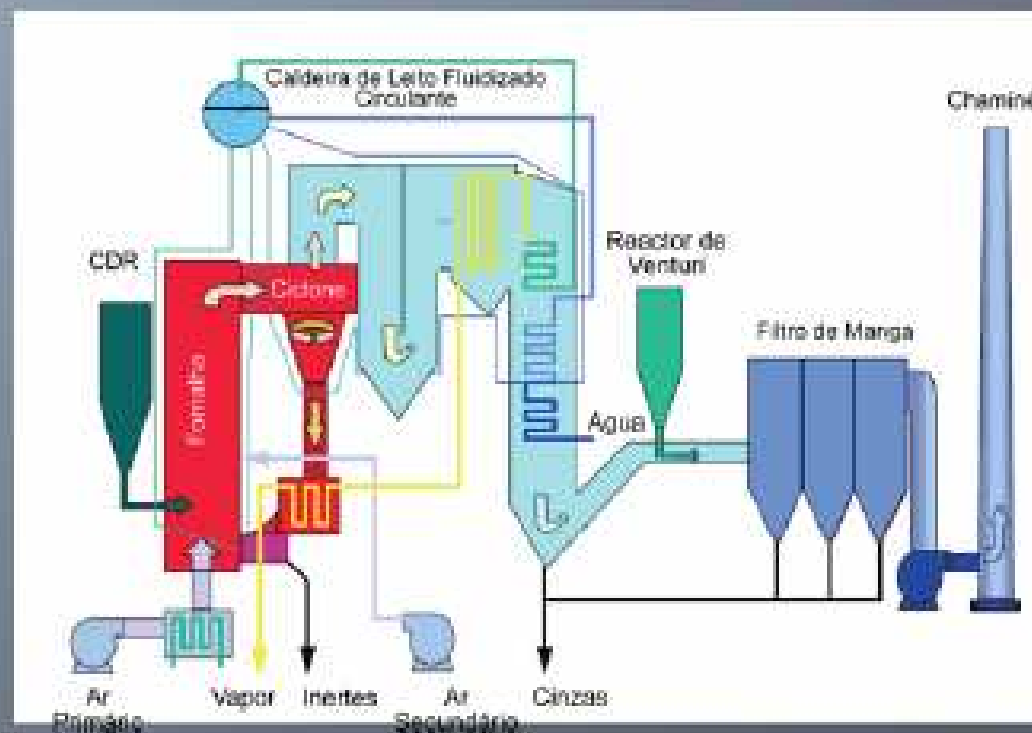
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Estado da arte: Utilização de CDR



LEITO FLUIDIZADO – exemplo Lomellina, Itália

- associada a uma unidade de produção de CDR;
- 150000 t/ano, PCI 12 MJ/kg;
- RDF 15 % de humidade
90 % < 90 mm
2% de inertes (máx)
- opera na gama de PCI:
10 -18 MJ/kg ;



Adaptado de Foster Wheeler (2006)



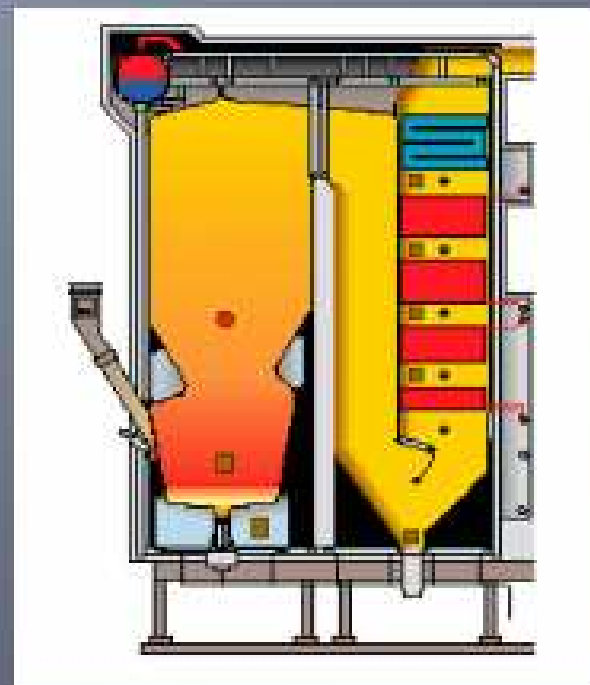
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Estado da arte: Utilização de CDR



→ LEITO FLUIDIZADO – exemplo Dundee, Escócia

- 120000 t/h – CDR com 10 MJ/kg
- $P = 10,5 \text{ MWe}$,
 - 2,2 MWe consumo próprio
 - 8,3 MWe exportados para a rede
- custo de construção = 44,4 milhões de Euros
- custos manutenção e operação = 24,8 €/t



Fonte: Kvaerner (2004)



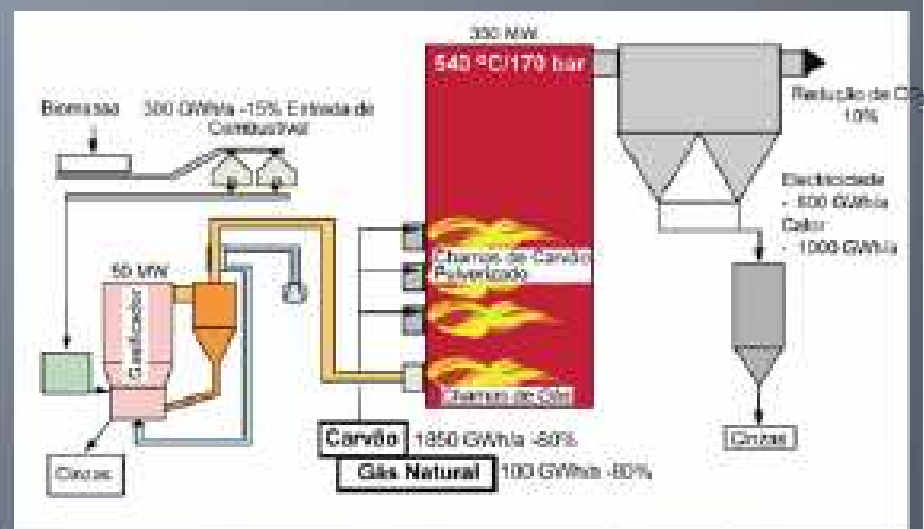
INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Estado da arte: Utilização de CDR



→ CO-COMBUSTÃO – exemplo Lahti, Finlândia

- antiga central a carvão e gás natural;
- remodelada em 1997;
- gaseificação de biomassa 61%
CDR RSU 26%
outros 13%;
- recebe combustíveis disponíveis num
raio de 50 km
- $P = 300 \text{ GWh/ano}$;
- investimento total = 12 Milhões de Euros;
- gaseificador = 8 Milhões de Euros;



Fonte: Ranta e Wilen (2002)



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Estado da arte: Utilização de CDR



CO-COMBUSTÃO – exemplo Norrköping, Suécia Sogama, Galiza, Espanha

- Co-gerações já existentes;
- Leitos fluidizados;
- Mix combustíveis
 - 30-50% CDR RSU
 - 50-70% CDR RIB
 - 0-20% Lamas ETAR
- PCI 8-15 MJ/kg

	Norrköping	Sogama
Caldeira		
Altura (m)	22,6	
Area da secção (m²)	34	
Velocidade dos gases na câmara	5,4	
Saída		
T gas (°C)	165	145
Carbono não queimado no cinzeiro (%)	< 1	
Água/Vapor		
T água alimentação (°C)	135	140
Caudal vapor por caldeira (kg/s)	27,5	
P vapor (MPa)	6,5	4,4
T vapor	470	450
Eficiência da caldeira	89,9	89,5



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Estado da arte: Utilização de CDR



→ CIMENTEIRAS –

- escassez de dados disponíveis – competitividade;
- Julho de 2003:

País	Nº de Utilizadores	CDR de RSU (T/ano)
Bélgica	1	15000
Dinamarca	1	2600
Itália	5	300000
Holanda	1	7000*

**cimenteiras receptivas ao uso de CDR
derivado de resíduos industriais
comparativamente ao CDR derivado de
RSU - maior facilidade de manuseamento
e maior PCI**

País	Utilizadores
Austria	10
Bélgica	9
Dinamarca	1
Finlândia	1
França	23
Alemanha	31
Itália	5
Luxemburgo	1
Holanda	1
Portugal	1
Espanha	11
Suécia	3
Reino Unido	9



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

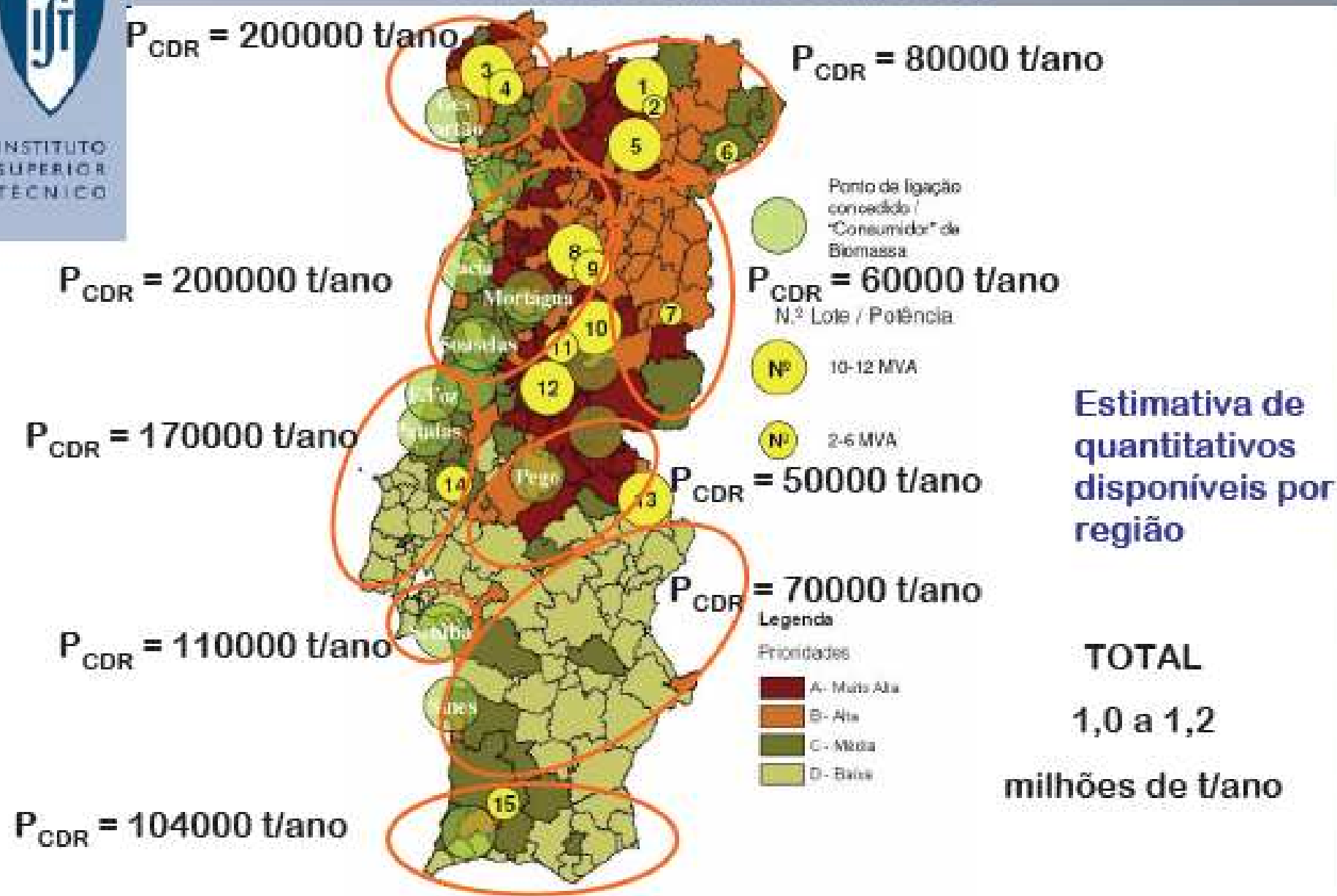


Potencial de Produção de CDR a partir de RSU



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Combustíveis Derivados de Resíduos





INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Combustíveis Derivados de Resíduos

Notas Finais

Potencial de utilização de CDR

Empresa	Localização	Consumo possível CDR (t/ano)		Tecnologia	Combustível Actual
		2007-2010	2010-2013		
PORTUGAL	Setúbal	10%(MW)		Leito Fluidizado	Biomassa
LIPOR II	Porto	44 000		Grelha	RSU
VALORSUL	Lisboa	75 000		Grelha	RSU
CIMPOR	Souselas	170 000	170 000 – 350 000	F. de Clinquer	Vários
	Alhandra				
	Loulé				
SECIL	Alcobaça	120 000	120 000 – 300 000	F. de Clinquer	Vários
	Maceira-Liz				
	Outão				
Novas Centrais de Biomassa	Várias		10%(MW)	?	Biomassa
ADP	Sines Estarreja		250 000 290 000	Leito Fluidizado	?
Novas linhas Lipor e Valorsul	Porto Lisboa		150 000 200 000	?	CDR
TOTAL		429 000	1180000 -1774000		